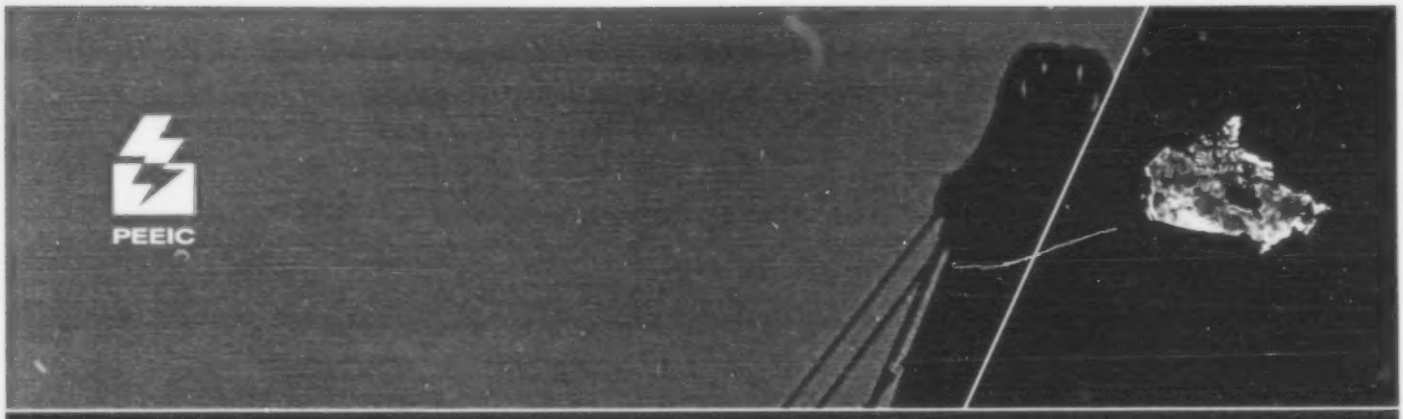


PEEIC

ANALYSE COMPARATIVE DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE

DES MINES À CIEL OUVERT DU CANADA

Préparé pour l'Association minière du Canada
et Ressources naturelles Canada

Ressources naturelles Canada
Natural Resources Canada

Canada

105-07179/

Pour obtenir des exemplaires supplémentaires de cette publication ou d'autres publications sur l'efficacité énergétique offertes gratuitement, veuillez vous adresser à :

Programme d'économie d'énergie dans l'industrie canadienne
c/o Ressources naturelles Canada
580 rue Booth, 18ième étage
Ottawa (Ontario) K1A 0E4

Tél. : (613) 995-6839
Télécopieur : (613) 992-3161
Courriel : cipec-peeic@rncan.gc.ca
Site web : oee.rncan.gc.ca/cipec/peel

Ou

L'Association minière du Canada
350 rue Sparks Suite 1105
Ottawa (Ontario) K1R 7S8

Tél. : (613) 233-9391
Télécopieur : (613) 233-8897
Site web : www.mining.ca

Catalogage avant publication de Bibliothèque et Archives Canada

Vedette principale au titre :

Analyse comparative de la consommation d'énergie des mines à ciel ouvert du Canada

Publ. aussi en anglais sous le titre : Benchmarking the energy consumption of Canadian open-pit mines.

ISBN 0-662-79188-6
N° de cat. M144-70/2005F

1. Mines – Exploitation à ciel ouvert – Énergie – Consommation – Canada.
2. Mines – Exploitation à ciel ouvert – Économies d'énergie – Canada.
3. Énergie – Consommation – Canada.
4. Économies d'énergie – Canada.
5. Évaluation énergétique – Canada.
I. Programme d'économie d'énergie dans l'industrie canadienne.
II. Association minière du Canada.

TN291.B46 2005 622'.292'0682 C2005-980102-6

© Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, 2005

Papier recyclé

AVANT-PROPOS

Pour le compte du Groupe de travail pour le secteur minier du Programme d'économie d'énergie dans l'industrie canadienne (PEEIC), l'Association minière du Canada (AMC) a retenu les services de la société Corporate Renaissance Group pour mener de concert avec les entreprises minières une analyse comparative de la consommation d'énergie dans les mines à ciel ouvert. Les entreprises qui ont pris part au projet ont acquitté les coûts des services-conseils offerts sur place et ont obtenu des rapports individualisés des résultats.

Le PEEIC compte 25 groupes de travail qui représentent les divers secteurs industriels du Canada. Il est un partenariat entre des associations industrielles et le gouvernement du Canada, lequel est représenté par l'Office de l'efficacité énergétique de Ressources naturelles Canada. Le Groupe de travail pour le secteur minier est composé de membres du comité de l'énergie de l'AMC. Les groupes de travail du PEEIC servent de centres de référence pour déterminer le potentiel d'efficacité énergétique dans leur secteur d'activité et les possibilités d'amélioration à ce chapitre. Pour ce faire, ils établissent des objectifs d'efficacité énergétique propres à chaque secteur, cernent les obstacles et trouvent des solutions, puis élaborent et mettent en œuvre des stratégies pour atteindre ces objectifs.

Le présent rapport est au nombre des publications de l'AMC faisant état de l'engagement de l'industrie minière à l'égard de l'économie d'énergie et de la réduction des émissions de gaz à effet de serre – un engagement essentiel pour le bien-être de tous. Nos membres estiment que les bonnes pratiques énergétiques sont tout simplement de bonnes pratiques commerciales.

Engager les Canadiens sur la voie de l'efficacité énergétique à la maison, au travail et sur la route

L'Office de l'efficacité énergétique de Ressources naturelles Canada renforce et élargit l'engagement du Canada envers l'efficacité énergétique afin d'aider à relever les défis posés par les changements climatiques.

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION 1
   1.1 Contexte 2
   1.2 Point de mire 2
   1.3 Présentation du rapport 3

2. MÉTHODE 5
   2.1 Portée de l'analyse 6
      2.1.1 Or et minerai de fer 6
      2.1.2 Sables bitumineux 6
   2.2 Échantillon de l'AMC 7
      2.2.1 Analyse : Aperçu 7
      2.2.2 Comparaison des coûts de l'énergie 9
      2.2.3 Analyse : Activités d'exploitation à ciel ouvert 9
      2.2.4 Analyse : Activités de broyage – Récupération de l'or 10
      2.2.5 Analyse : Activités de concentration – Minerai de fer 12
      2.2.6 Activités générales et administratives 12

3. RÉSULTATS : ANALYSE COMPARATIVE DES MINES PARTICIPANTES 13
   3.1 Comparaison des coûts unitaires de l'énergie 15
   3.2 Comparaison des coûts de l'énergie des différentes entreprises minières – Ensemble des activités 17
   3.3 Comparaison des coûts de l'énergie des différentes mines – Activités d'exploitation 21
      3.3.1 Ensemble des activités d'exploitation minière 21
      3.3.2 Activités liées aux stériles – Étapes de production 23
      3.3.3 Activités d'extraction du minerai – Étapes de production 28
      3.3.4 Comparaisons reposant sur la quantité totale de matériaux retirés 34
   3.4 Comparaison des coûts de l'énergie des différentes entreprises minières – Activités de broyage et de concentration 43
      3.4.1 Ensemble des activités de broyage et de concentration 43
      3.4.2 Activités de broyage et de concentration – Étapes de la production 45
   3.5 Activités générales et administratives 52

4. POSSIBILITÉS D'ÉCONOMIES : ATTEINTE DU RENDEMENT DE RÉFÉRENCE 53
   4.1 Contexte 54
   4.2 Économies d'énergie potentielles – Extraction 55
   4.3 Économies d'énergie potentielles – Broyage 55

1 INTRODUCTION

2

1. INTRODUCTION

1.1 Contexte

Les coûts de l'énergie représentent une part importante des coûts totaux d'exploitation du secteur minier au Canada. La consommation d'énergie du secteur entraîne, directement et indirectement, une production importante d'émissions de gaz à effet de serre au pays. Il est donc urgent au chapitre environnemental et économique de procéder à un examen exhaustif de la consommation d'énergie découlant des activités d'extraction et de broyage.

L'Association minière du Canada (AMC) a parrainé le présent projet d'analyse comparative de la consommation d'énergie. Ce dernier vise à comparer en détail la consommation d'énergie découlant des activités d'extraction à ciel ouvert et de concentration. L'Office de l'efficacité énergétique de Ressources naturelles Canada (RNCan) a donné son appui à l'étude, dans le cadre des efforts continus du Ministère de promouvoir l'utilisation judicieuse de l'énergie au Canada.

1.2 Point de mire

La présente analyse est principalement axée sur les activités d'extraction et de concentration des entreprises d'exploitation de mines à ciel ouvert membres de l'AMC. Neuf établissements d'extraction et de broyage, œuvrant plus particulièrement dans le domaine de l'exploitation de l'or, des sables bitumineux et du minerai de fer, ont participé au projet.

Dans le cadre du projet, on a procédé à une comparaison détaillée de la consommation d'énergie découlant des activités d'extraction (forage – transport) et de concentration (concassage – élimination des résidus miniers) des établissements. Environ 25 catégories de coûts énergétiques et de données sur la consommation de l'énergie ont été examinées.

En raison de la nature fort différente des activités de broyage et de concentration pour l'or et le minerai de fer, les comparaisons de la consommation d'énergie pour ces activités ont été dans la mesure du possible rassemblées en plus grands groupes. En ce qui a trait aux sables bitumineux, les comparaisons ne visaient que les activités d'extraction.

1.3 Présentation du rapport

Nous commençons par présenter dans la **section 2** la méthode utilisée. Nous décrivons l'approche adoptée pour comparer les coûts de l'énergie [$/kt (kilotonne) de minerai extrait; $/kt de minerai broyé] en vue d'analyser les activités des participants à l'étude.

La **section 3** renferme les résultats de l'analyse comparative détaillée des coûts et de la consommation d'énergie des neuf établissements participants. Les comparaisons entre les établissements sont présentées à l'échelle des activités d'extraction et de broyage, ainsi qu'à diverses étapes de la production.

La **section 4** comprend les résultats sur les économies pouvant être réalisées en atteignant le rendement de référence. On a estimé ces économies en comparant les coûts énergétiques des activités de chaque participant à ceux des activités dont les coûts sont les moins élevés.

2 MÉTHODE

6

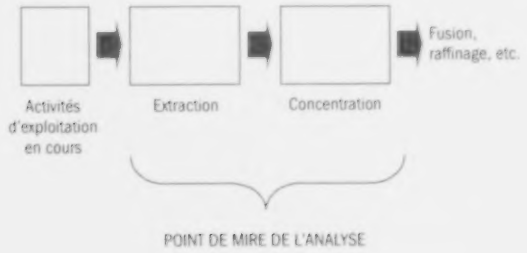
2. MÉTHODE

2.1 Portée de l'analyse

L'analyse comparative des coûts et de la consommation d'énergie a porté sur les éléments suivants :

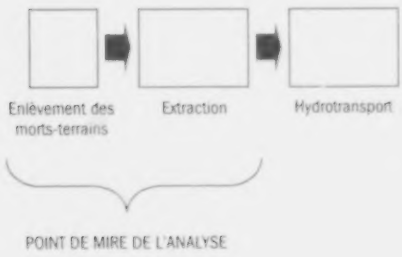
2.1.1 Or et minerai de fer

L'analyse de la consommation d'énergie des mines d'or et de minerai de fer porte sur les activités d'extraction, de broyage et de concentration.



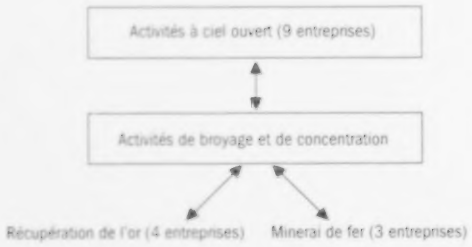
2.1.2 Sables bitumineux

L'analyse de la consommation d'énergie pour la mise en valeur des sables bitumineux porte sur les activités d'extraction.



2.2 Échantillon de l'AMC

Au total, neuf établissements ont participé au projet. Chaque étude de cas porte sur une installation minière à ciel ouvert. Sept des neuf entreprises minières ont fourni de l'information sur la consommation d'énergie liée aux activités de broyage et de concentration. Parmi ces entreprises, quatre procèdent à la récupération de l'or pour produire des lingots, tandis que les trois autres produisent des concentrés de minerai de fer.



2.2.1 Analyse : Aperçu

L'analyse a pour objectif de comparer en détail les coûts par kt de minerai extrait et traité des entreprises participantes. Ces coûts sont divisés en coûts unitaires de l'énergie et en énergie consommée par kt de minerai pour les activités suivantes :

Exploitation à ciel ouvert

Toutes les activités d'exploitation des neuf entreprises minières sont comparées, y compris le transport du minerai au concasseur.

Activités de broyage et de concentration (récupération de l'or et concentration du minerai de fer)

L'analyse compare la consommation d'énergie et les coûts des quatre entreprises qui procèdent à la récupération de l'or et des trois entreprises qui exploitent le minerai de fer, et porte sur le concassage, la pulvérisation et l'ensemble de toutes les étapes de production après la pulvérisation jusqu'au chargement. Elle vise également l'eau de procédé, l'élimination des résidus miniers et les services de soutien.

Il n'est pas utile d'établir une comparaison plus détaillée des procédés, car ces derniers sont complètement différents d'une entreprise à l'autre. Toutefois, une analyse plus détaillée de chaque procédé de broyage et de concentration a été présentée à chacune des entreprises participant à l'étude.

Dans tous les cas, la consommation d'énergie repose sur les équivalents en kilowattheures (éq kWh). Les facteurs de conversion pour les autres sources d'énergie sont présentés ci-dessous. Ces derniers sont tirés des facteurs de contenu énergétique signalés dans le rapport intitulé *Perspectives énergétiques du Canada, 1996-2000*, avril 1997, page D-3.

Tableau 2.1 – Facteurs de conversion (éq kWh)

Source d'énergie	Unité	éq kWh/unité
Diesel	L	10,74
Essence	L	9,63
Gaz naturel	m^3	10,31
Explosifs	kg	1,06
Mazout léger	L	10,40
Mazout brut	L	11,59

Les comparaisons entre les établissements portent sur les coûts unitaires ci-dessous et les diverses activités des installations minières à ciel ouvert ainsi que sur les activités de broyage et de concentration.

Exploitation à ciel ouvert (or, minerai de fer et sables bitumineux)

$$\left[\frac{\$}{\text{kilotonne de minerai extrait}}\right] = \left[\frac{\$}{\text{éq kWh}}\right] \times \left[\frac{\text{éq kWh}}{\text{kilotonne de minerai extrait}}\right]$$

Broyage et concentration (or et minerai de fer)

$$\left[\frac{\$}{\text{kilotonne de minerai broyé}}\right] = \left[\frac{\$}{\text{éq kWh}}\right] \times \left[\frac{\text{éq kWh}}{\text{kilotonne de minerai broyé}}\right]$$

Remarque : 1 kt = 2,204 623 millions de livres

Ensemble des activités des installations minières

Pour l'ensemble des activités des installations minières, les coûts unitaires et la consommation d'énergie reposent sur le cumul des éléments susmentionnés. Étant donné que certaines des entreprises menant des activités de broyage et de concentration transforment du minerai provenant de plus d'une mine à ciel ouvert et que des procédés différents sont utilisés pour le traitement de minerais de types et de qualités divers, les données pour l'ensemble des activités des installations minières reposent sur les facteurs suivants :

a. la consommation d'énergie et les coûts énergétiques moyens de l'entreprise participant à l'étude;

b. les coûts réels et la consommation d'énergie des activités de broyage et de concentration.

Compte tenu de ces deux facteurs, les coûts totaux de l'énergie peuvent être subdivisés pour calculer le coût par kt d'or et de minerai de fer broyé.

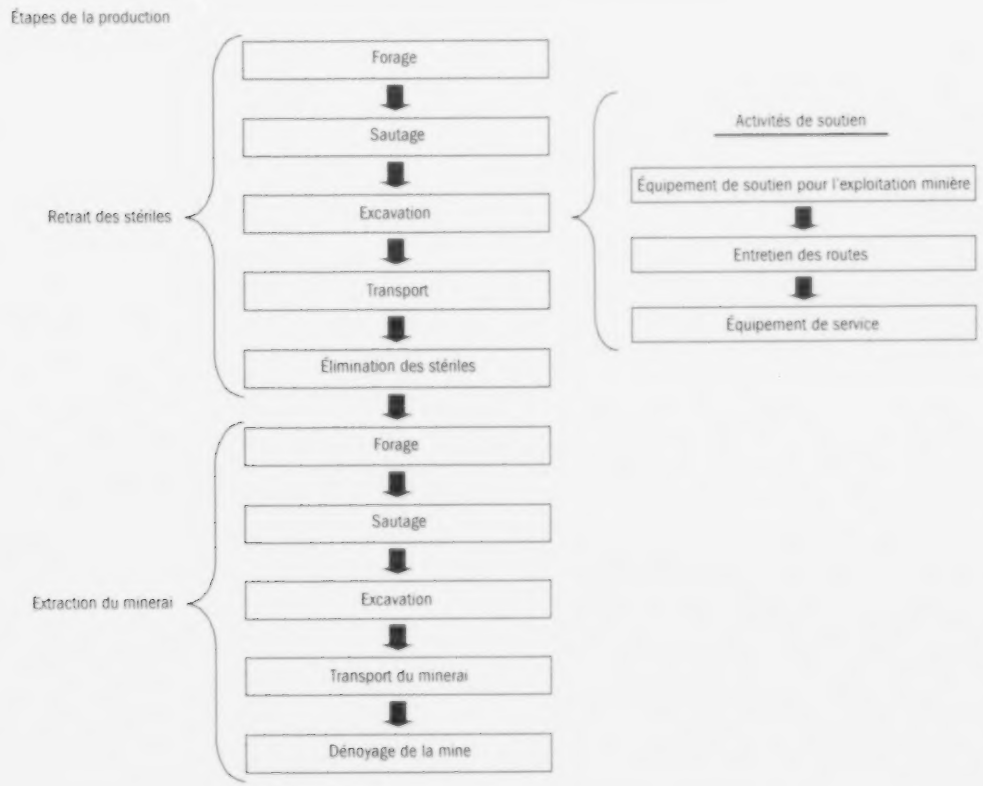
2.2.2 Comparaison des coûts de l'énergie

Il n'est pas surprenant de constater une variation des coûts moyens de l'énergie par source d'énergie des neuf mines à ciel ouvert.

Source d'énergie (p. ex., électricité)

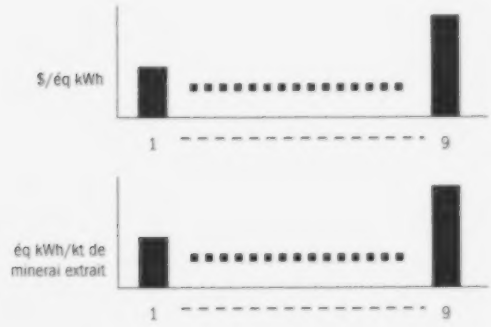
2.2.3 Analyse : Activités d'exploitation à ciel ouvert

Les activités d'exploitation à ciel ouvert ont été réparties en dix étapes de production et trois activités de soutien. Ces catégories sont présentées ci-dessous.



On a comparé les coûts totaux de l'énergie pour les activités d'exploitation minière à ciel ouvert des neuf entreprises.

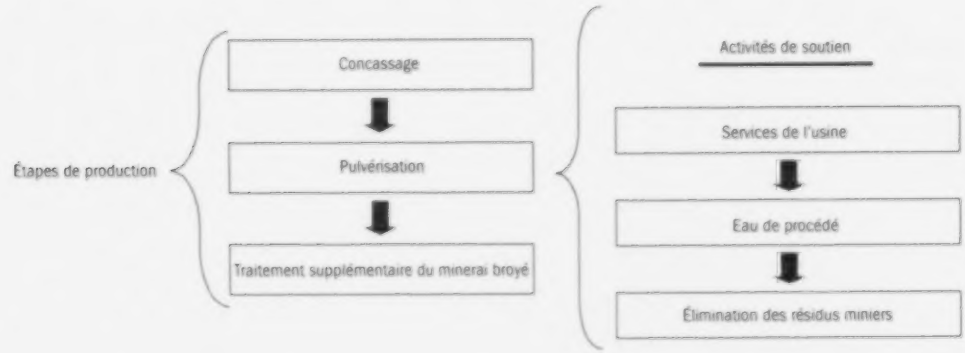
Les coûts de l'énergie ont ensuite été divisés en $/éq kWh et en éq kWh/kt de minerai extrait.



Dans le même ordre d'idées, on a comparé les coûts et la consommation d'énergie de **chacune** des neuf entreprises selon l'étape de production.

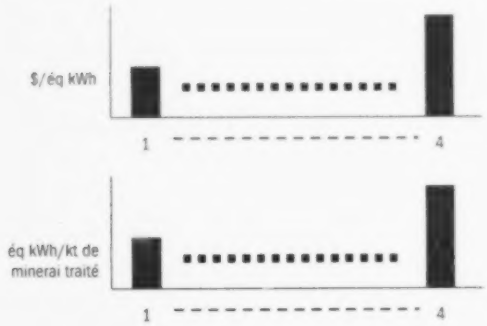
2.2.4 Analyse : Activités de broyage – Récupération de l'or

Les activités de broyage visant à récupérer l'or ont été réparties entre les étapes de production et les activités de soutien suivantes.



On a comparé les coûts totaux de l'énergie pour le procédé de broyage des quatre entreprises procédant à la récupération de l'or.

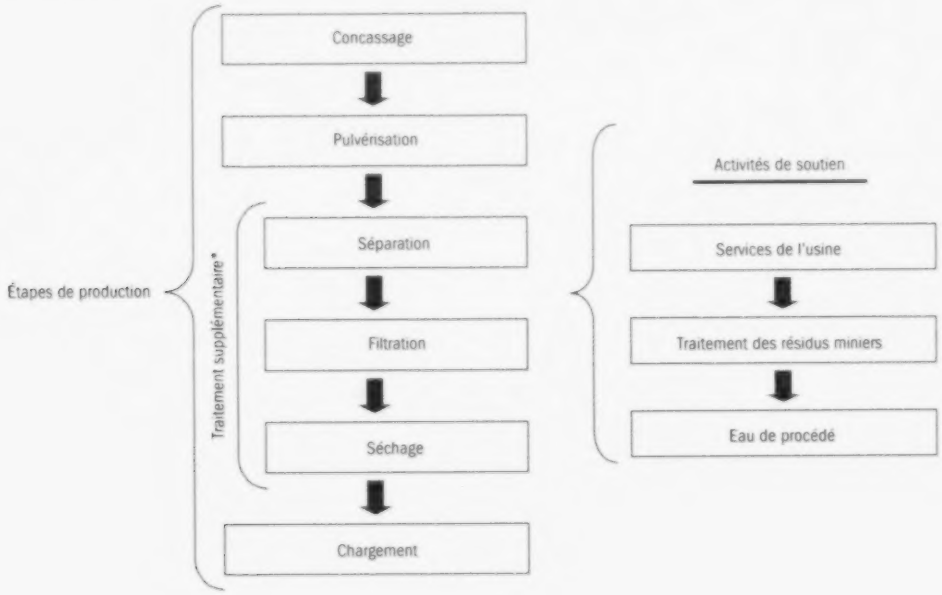
On a ensuite divisé les coûts de l'énergie en $/éq kWh et en éq kWh/kt de minerai broyé.



On a comparé les coûts totaux de l'énergie de **chacune** des étapes de production liées à la récupération de l'or (concassage, pulvérisation et traitement supplémentaire jusqu'au traitement et à l'élimination des résidus miniers). Dans chaque cas, on a comparé les coûts totaux de l'énergie par kt de minerai broyé, les $/éq kWh et les éq kWh/kt de minerai broyé, comme l'illustre le tableau des activités d'exploitation minière ci-dessus.

2.2.5 Analyse : Activités de concentration – Minerai de fer

On a réparti les activités de concentration du minerai de fer des entreprises minières entre les étapes de production et d'activités de soutien suivantes.



* NOTA : EN CE QUI A TRAIT AUX ÉTAPES DE PRODUCTION LIÉES À LA SÉPARATION, À LA FILTRATION ET AU SÉCHAGE, LES ENTREPRISES PARTICIPANT À L'ÉTUDE ONT DES PROCÉDÉS SENSIBLEMENT DIFFÉRENTS. AFIN D'EFFECTUER DES COMPARAISONS VALABLES DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE POUR CES ÉTAPES, IL A ÉTÉ NÉCESSAIRE DE REGROUPER LES DONNÉES SOUS LA BANNIÈRE « TRAITEMENT SUPPLÉMENTAIRE ». ON A TOUTEFOIS INFORMÉ CHACUNE DES ENTREPRISES DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE POUR CHACUNE DE CES ÉTAPES.

Comme dans le cas des activités de mise en valeur de l'or, on a comparé les coûts totaux de l'énergie par kt pour les trois activités de concentration. On a ensuite divisé ces coûts de l'énergie en $/éq kWh et en éq kWh/kt de minerai traité.

On a effectué la comparaison décrite ci-dessus pour chacune des étapes de production liées aux activités de concentration : concassage, pulvérisation et séparation jusqu'au traitement et à l'élimination des résidus miniers.

2.2.6 Activités générales et administratives

On a comparé les coûts des activités générales et administratives de façon distincte en ce qui a trait à la mise en valeur de l'or et du minerai de fer. Comme dans le cas de l'analyse des activités d'extraction, de broyage et de concentration, on a déterminé les coûts totaux de l'énergie pour les activités générales et administratives par kt de minerai extrait. Ensuite, ces données sur les coûts ont été divisées en $/éq kWh et en éq kWh/kt de minerai extrait.

3

RÉSULTATS : ANALYSE COMPARATIVE DES MINES PARTICIPANTES

3. RÉSULTATS : ANALYSE COMPARATIVE DES MINES PARTICIPANTES

Comme on l'a déjà mentionné, parmi les neuf entreprises minières participant à l'étude, trois exploitaient le minerai de fer, quatre, l'or et deux, les sables bitumineux (pour ces derniers, seules les données sur la consommation d'énergie liée aux activités d'extraction ont été recueillies). Dans tous les cas, les neuf entreprises ont fait état des coûts et de la consommation d'énergie pour la totalité de l'année civile 2000.

Les neuf entreprises minières ont engagé au cours de l'an 2000 des dépenses énergétiques totales de l'ordre de 228 millions de dollars. Les combustibles pour lesquels on a enregistré la consommation la plus élevée étaient le diesel (235 millions de litres) et l'électricité (2 265 gigawattheures). Ensemble, ces deux sources d'énergie représentaient plus de 75 p. 100 de la consommation totale d'énergie (en éq kWh) des mines.

Les entreprises minières participantes ont produit dans l'ensemble plus de 260 millions de tonnes de minerai au cours de l'an 2000 et ont procédé au retrait d'une quantité comparable de stériles. Le volume de minerai extrait au cours de l'année variait entre moins de 4 millions de tonnes à plus de 60 millions de tonnes à la plus grande mine. La quantité totale de matériaux retirés (minerai et stériles) variait entre un peu moins de 20 millions de tonnes à plus de 120 millions de tonnes. Les coefficients de recouvrement (stériles : tonnage de minerai) variaient considérablement, allant de 0,04 à 6,05. Cette variation a une incidence importante sur les coûts et la consommation d'énergie ***par tonne de minerai extrait*** qui sont présentés aux sections 3.2 et 3.3 de la présente étude. À la section 3.4, toutefois, on compare les activités d'extraction en fonction de la quantité totale (en tonnes) de matériaux retirés (minerai et stériles), sans tenir compte de l'incidence des coefficients de recouvrement.

Les résultats de l'analyse comparative de la consommation d'énergie seront présentés en fonction des éléments suivants :

1. les coûts des entreprises participantes pour chaque source d'énergie;
2. les activités d'extraction des neuf entreprises;
3. les résultats des activités de concentration de sept entreprises.

3.1 Comparaison des coûts unitaires de l'énergie

On constate une différence marquée entre les coûts unitaires les moins élevés et les coûts unitaires les plus élevés signalés pour les sources d'énergie utilisées par les entreprises ayant participé à l'étude. Comme l'illustre la figure ci-dessous, la fourchette des coûts unitaires pour chaque source d'énergie est très vaste (de 118 à 3 849 p. 100). Une comparaison des coûts unitaires de l'énergie est présentée dans les figures suivantes.

Figure 3.1 – Fourchette des coûts unitaires de l'énergie

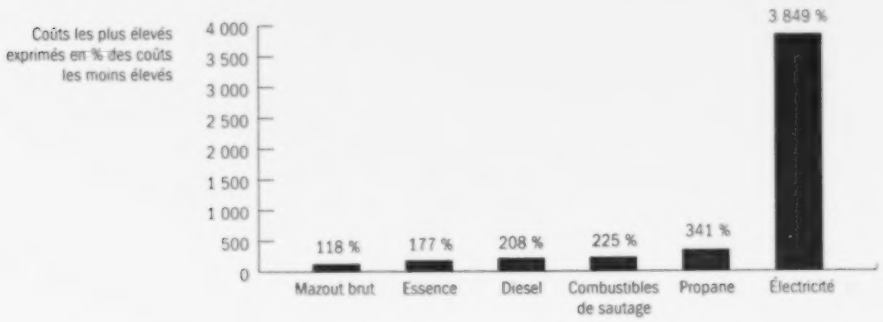


Figure 3.2 – Comparaison des coûts unitaires de l'énergie ($ CAN)

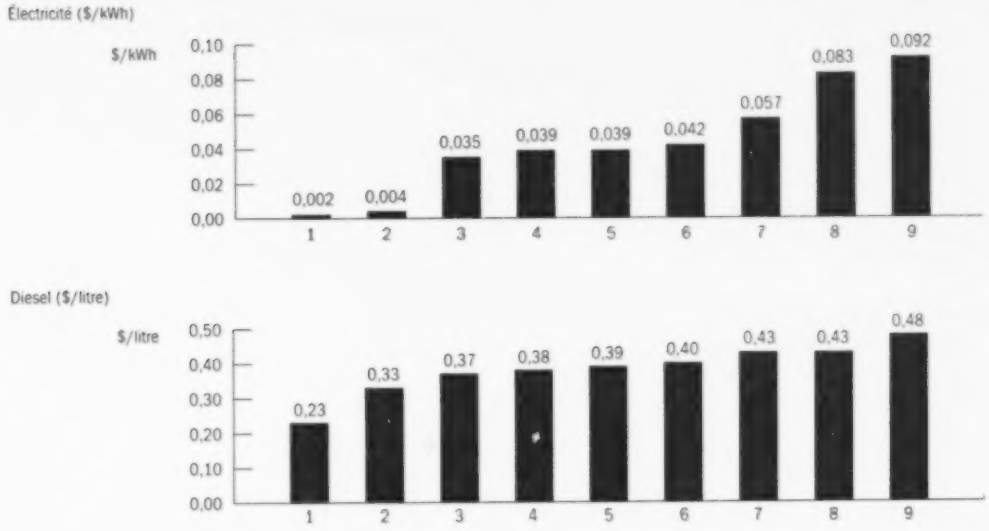
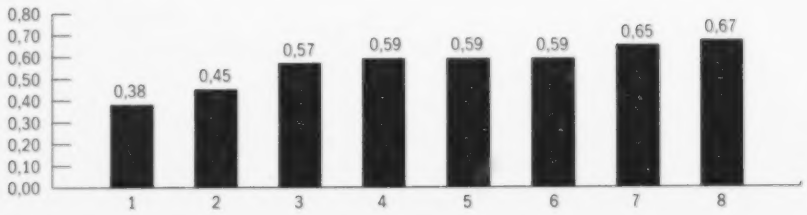
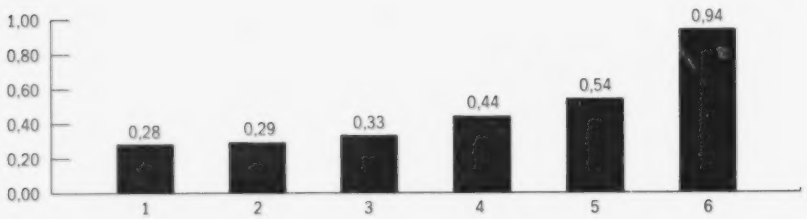


Figure 3.2 (suite) – Comparaison des coûts unitaires de l'énergie

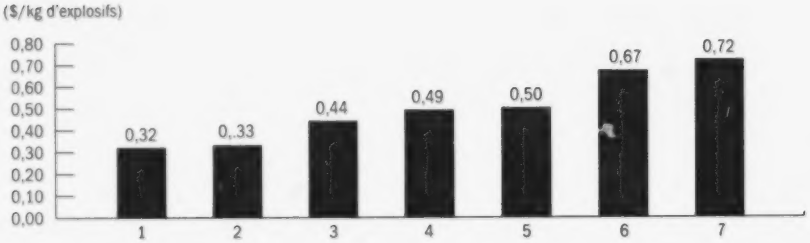
Essence ($/litre)



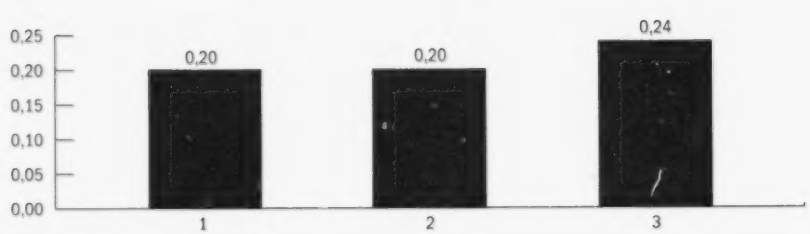
Propane ($/litre)



Combustibles de sautage ($/kg d'explosifs)



Mazout brut ($/litre)



3.2 Comparaison des coûts de l'énergie des différentes entreprises minières – Ensemble des activités

17

On a obtenu suffisamment de renseignements des sept entreprises d'exploitation de mines à ciel ouvert pour établir des comparaisons pour « l'ensemble des activités » (coûts de l'extraction et du broyage, de la concentration et consommation d'énergie par kt de minerai extrait ou traité) pour chacune des étapes de production (forage, sautage, chargement et excavation, transport, concassage, pulvérisation, etc.). En ce qui concerne les deux entreprises d'exploitation des sables bitumineux participant à l'étude, seules les données sur l'extraction ont été recueillies. Pour le procédé de lixiviation en tas faisant partie des activités d'exploitation des mines d'or, on a séparé les coûts entre ceux visant le minerai destiné au procédé de broyage et ceux du traitement du minerai sur les remblais de lixiviation. On fournit dans le présent rapport les coûts du « broyage du minerai ».

Dans tous les cas, on a comparé les coûts de l'énergie selon la quantité de minerai extrait exprimés en dollars canadiens par kt (millions de kilogrammes[1]). On a ensuite divisé ces coûts unitaires en coûts de l'énergie (dollars par éq kWh) et en consommation (éq kWh par kt de minerai extrait). Les coûts de l'énergie pour l'ensemble des activités représentent le coût moyen par kt de minerai extrait plus le coût moyen par kt de minerai broyé ou concentré. Ces coûts sont exprimés en « dollars par kt de minerai traité » (c.-à-d., le minerai traité au cours des activités d'extraction et de concentration). La figure ci-dessous présente les coûts totaux de l'énergie par kt de minerai extrait et de minerai broyé ou concentré des sept entreprises minières ayant fourni toutes les données de l'étude.

1 Une tonne (1 000 kg) correspond à 2 204,6 lb.

18

Figure 3.3 – Coûts de l'énergie : Ensemble des activités

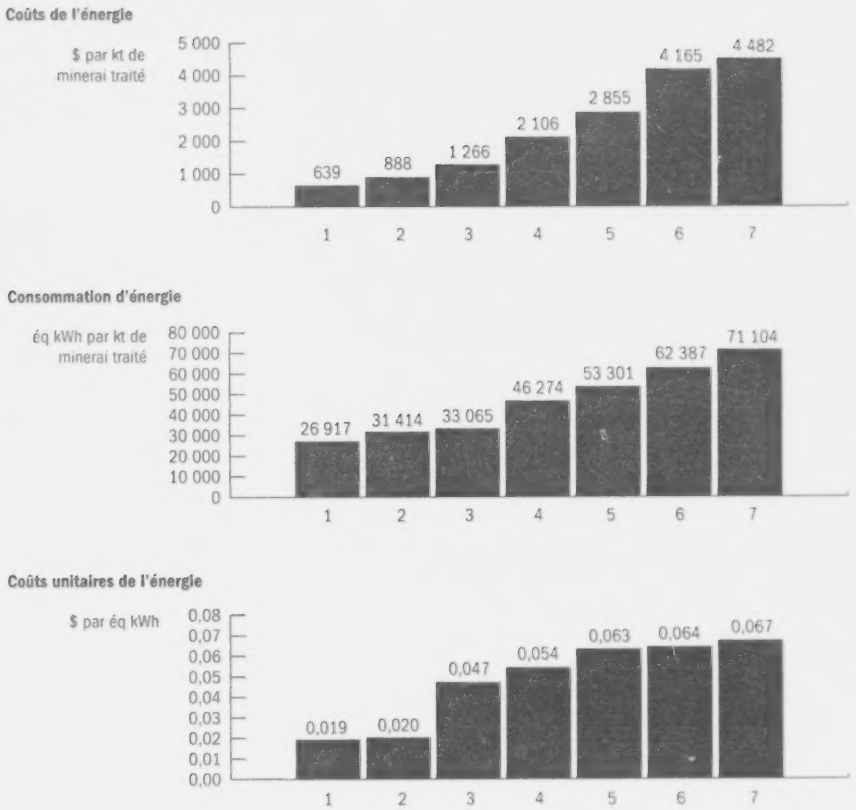


Figure 3.4 – Coûts moyens selon l'étape de production

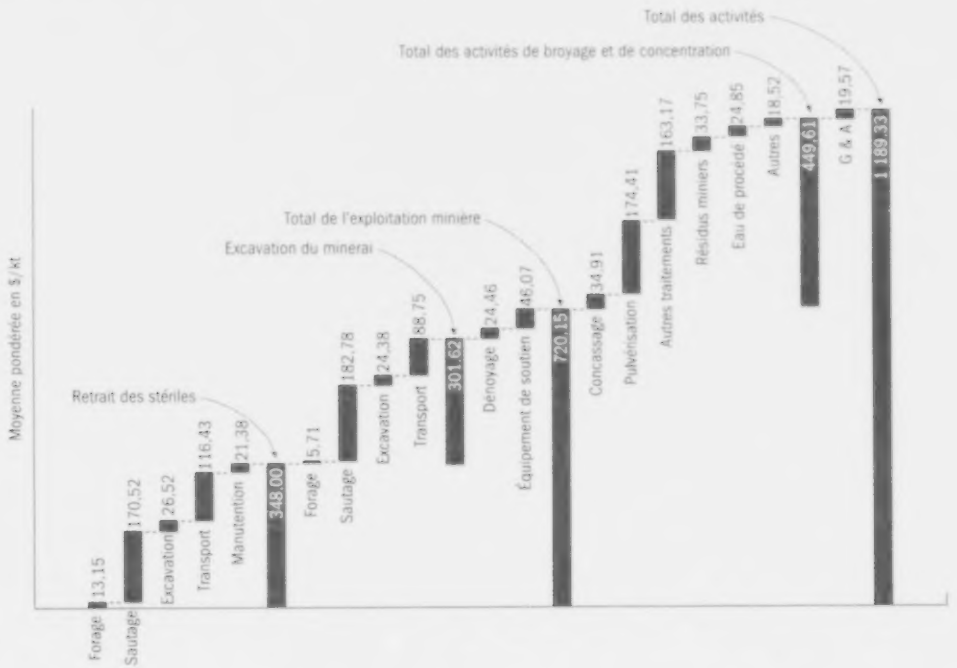
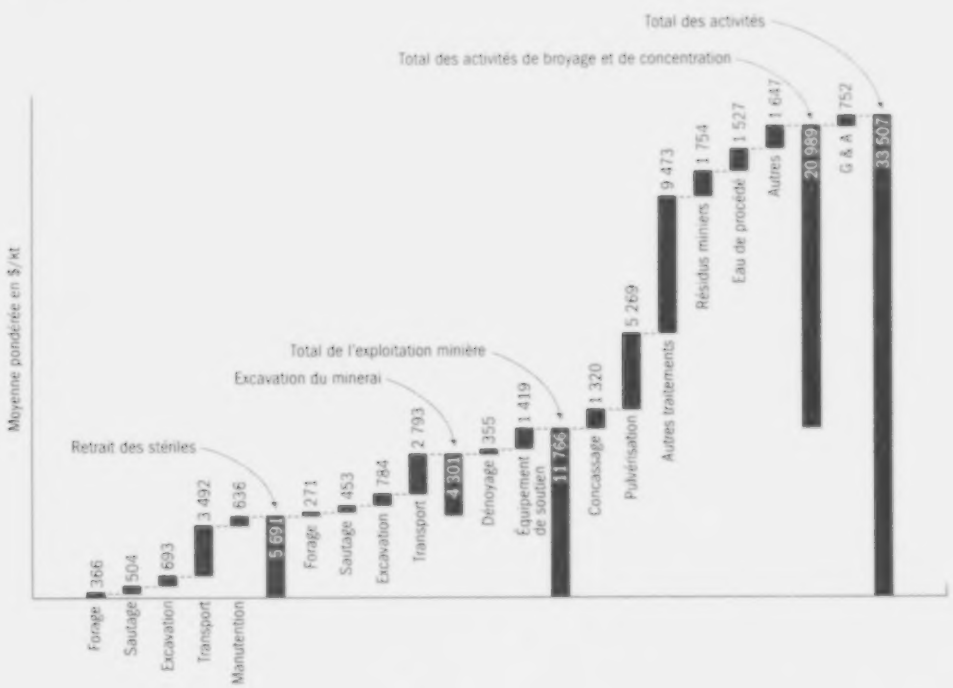


Figure 3.5 – Consommation d'énergie moyenne selon l'étape de production



3.3 Comparaison des coûts de l'énergie des différentes mines – Activités d'exploitation

3.3.1 Ensemble des activités d'exploitation minière

On présente ci-dessous les coûts totaux de l'énergie pour les activités d'exploitation minière à ciel ouvert des neuf entreprises. Comme l'illustre le tableau, les coûts de l'énergie varient de 170 à 3 120 $ par kt de minerai extrait. La fourchette des coûts et des rendements est la suivante :

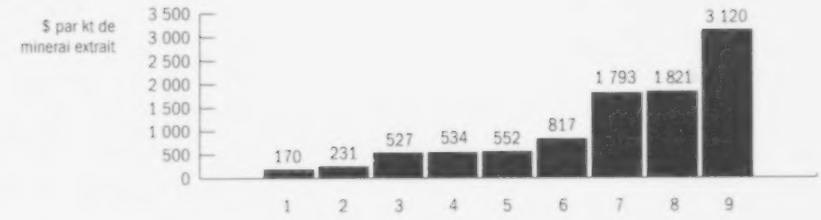
	Fourchette Élevé : Faible	Élevé : Faible Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/kt de minerai extrait)	3 120 : 170	1 830
Consommation d'énergie (éq kWh/kt de minerai extrait)	42 474 : 7 006	606
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,073 : 0,022	331

Les coûts totaux indiqués visent le forage, le sautage, l'excavation, le transport, le dénoyage, l'équipement de soutien pour l'exploitation minière, l'entretien des routes et le matériel de service. Ces coûts n'incluent pas les activités de concassage dans les mines ou de remanutention du minerai des piles de stockage.

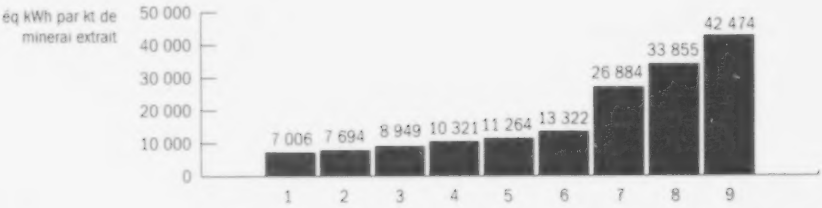
.22

Figure 3.6 – Coûts totaux de l'énergie : Activités d'exploitation minière

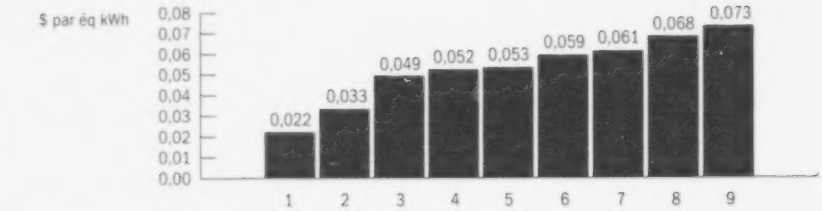
Coûts de l'énergie



Consommation d'énergie



Coûts unitaires de l'énergie



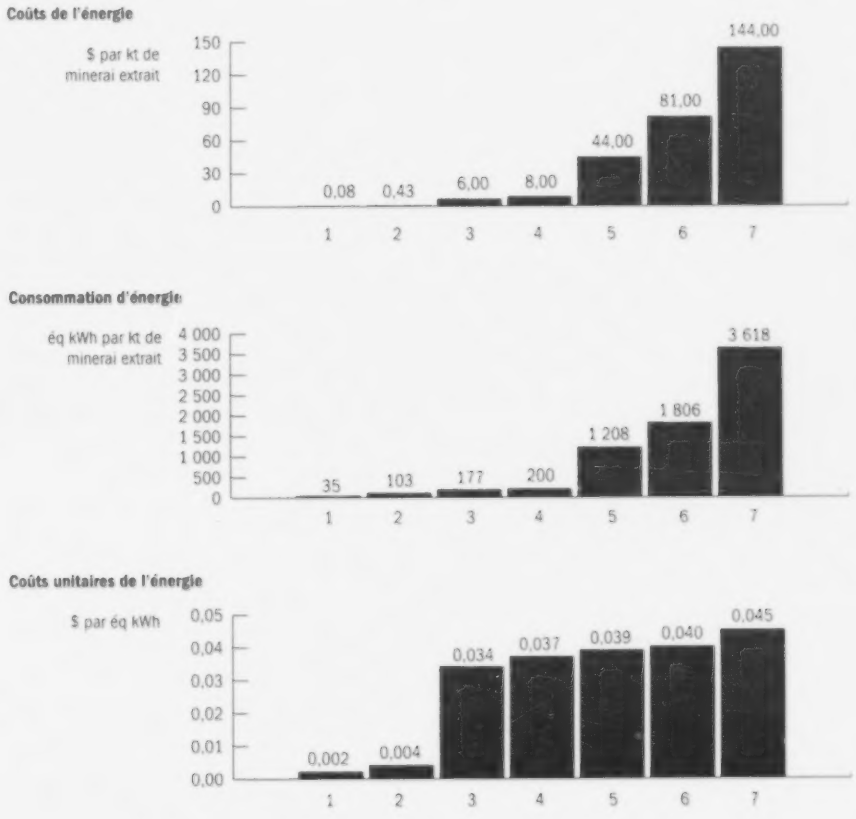
3.3.2 Activités liées aux stériles – Étapes de production

Forage (stériles)

Les coûts de l'énergie associés au forage des stériles varient de 0,08 à 144 $ par kt de minerai extrait pour sept activités de forage. La fourchette des coûts et des rendements est la suivante :

	Fourchette Élevé : Faible	Élevé : Faible Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/kt de minerai extrait)	144 : 0,08	179 800
Consommation d'énergie (éq kWh/kt de minerai extrait)	3 618 : 35	10 439
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,045 : 0,002	1 858

Figure 3.7 – Coûts de l'énergie liés au forage (stériles)

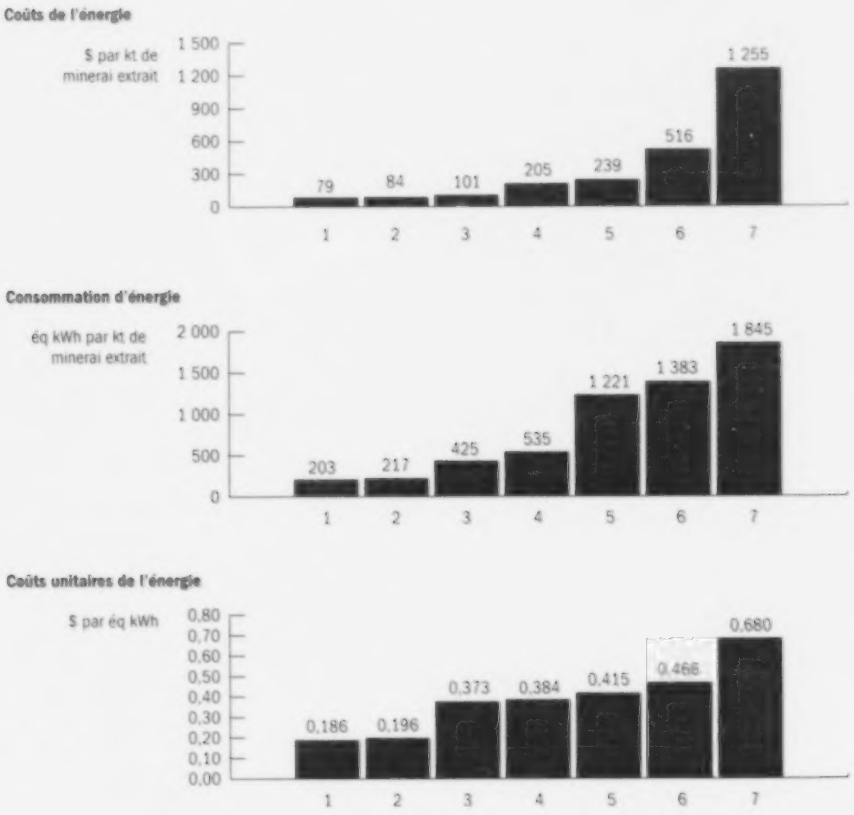


Sautage (stériles)

Les coûts de l'énergie associés au sautage des stériles varient de 79 à 1 255 $ par kt de minerai extrait. La fourchette des coûts et des rendements est la suivante :

	Fourchette Élevé : Faible	Élevé : Faible Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/kt de minerai extrait)	1 255 : 79	1 588
Consommation d'énergie (éq kWh/kt de minerai extrait)	1 845 : 203	909
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,680 : 0,186	366

Figure 3.8 – Coûts de l'énergie liés au sautage (stériles)

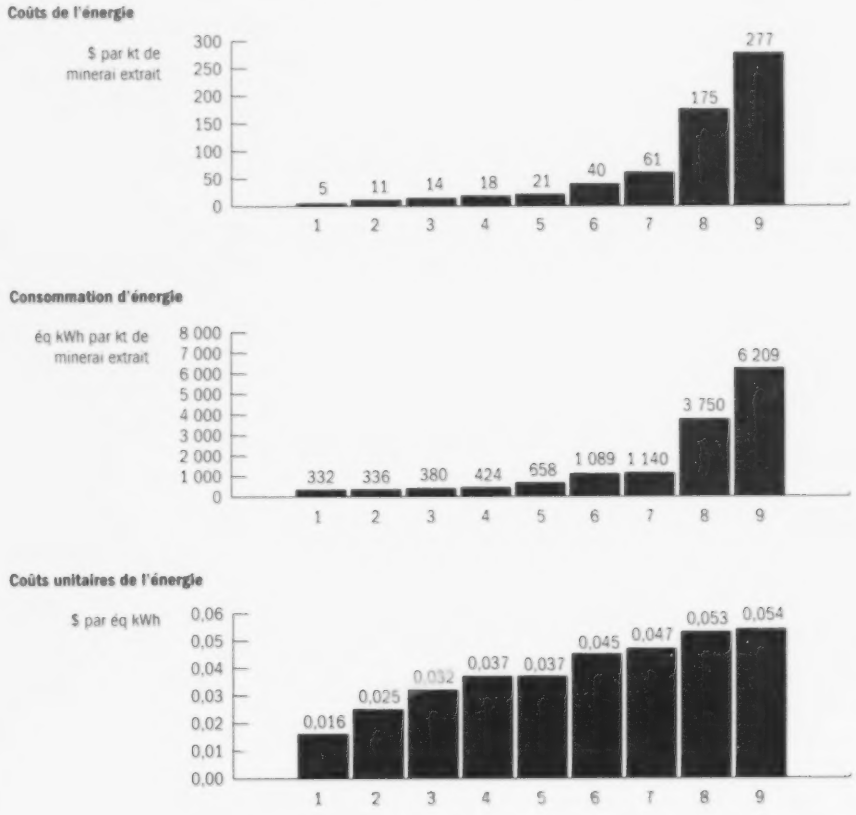


Chargement et excavation (stériles)

Les coûts de l'énergie associés au chargement et à l'excavation des stériles varient de 5 à 277 $ par kt de minerai extrait. La fourchette des coûts et des rendements est la suivante :

	Fourchette Élevé : Faible	Élevé : Faible Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/kt de minerai extrait)	277 : 5	5 213
Consommation d'énergie (éq kWh/kt de minerai extrait)	6 209 : 332	1 868
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,054 : 0,016	341

Figure 3.9 – Coûts de l'énergie liés à l'excavation (stériles)



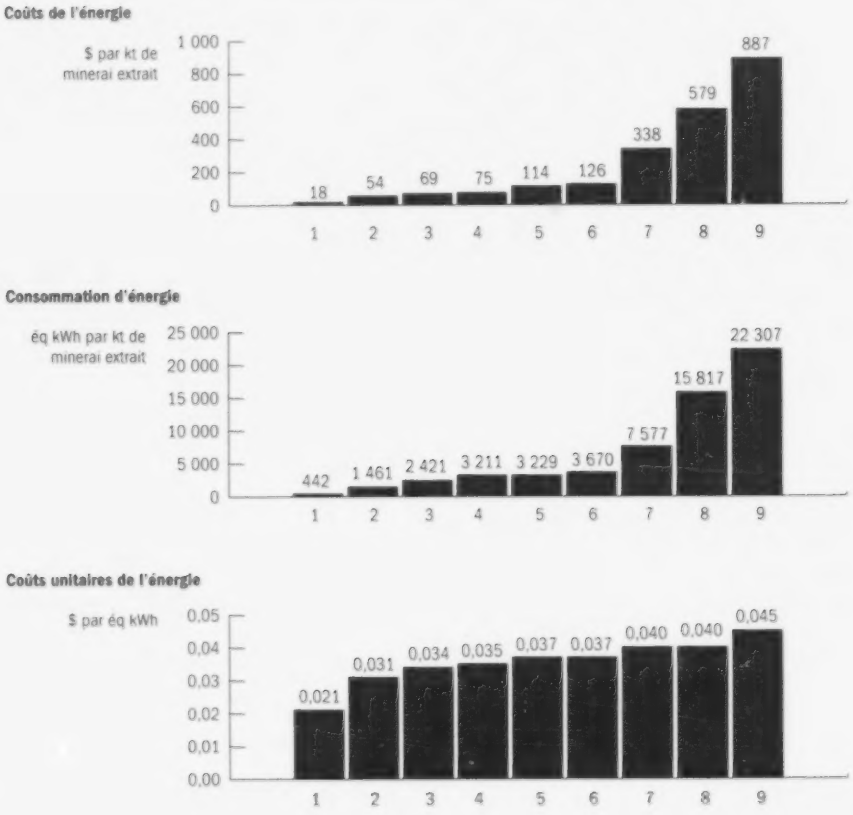
26

Transport des stériles

Les coûts de l'énergie associés au transport des stériles varient de 18 à 887 $ par kt de minerai extrait. La fourchette des coûts et des rendements est la suivante :

	Fourchette Élevé : Faible	Élevé : Faible Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/kt de minerai extrait)	887 : 18	4 986
Consommation d'énergie (éq kWh/kt de minerai extrait)	22 307 : 442	5 052
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,045 : 0,021	208

Figure 3.10 – Coûts de l'énergie liés au transport des stériles

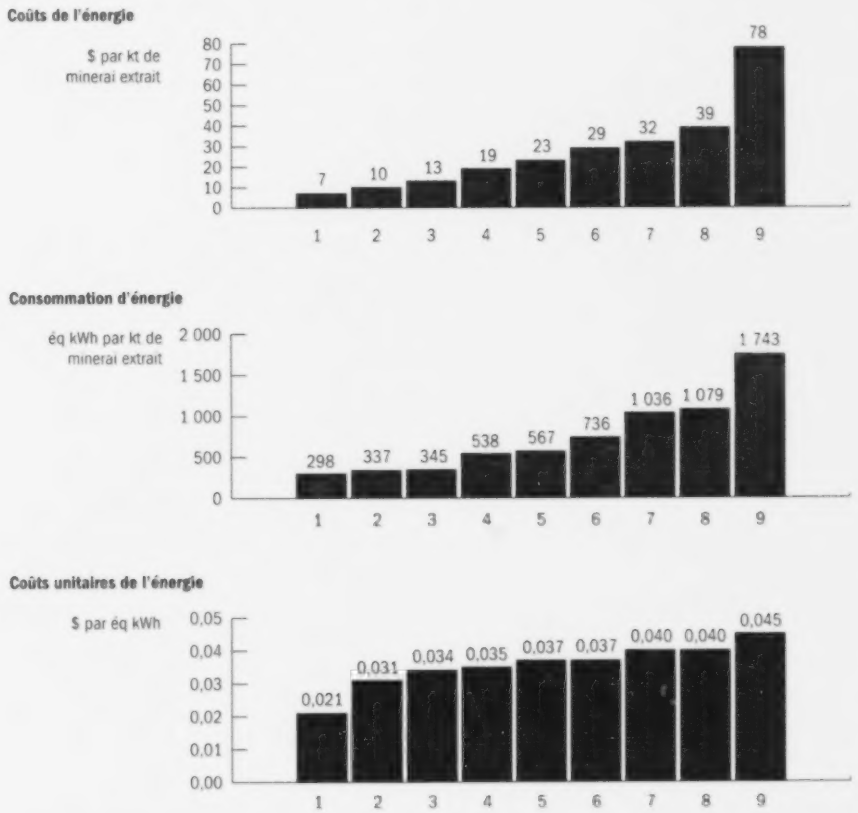


Manutention des stériles

Les coûts de l'énergie associés à la manutention des stériles après le transport varient de 7 à 78 $ par kt de minerai extrait. La fourchette des coûts et des rendements est la suivante :

	Fourchette Élevé : Faible	Élevé : Faible Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/kt de minerai extrait)	78 : 7	1 076
Consommation d'énergie (éq kWh/kt de minerai extrait)	1 743 : 298	586
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,045 : 0,021	208

Figure 3.11 - Coûts de l'énergie liés à la manutention des stériles



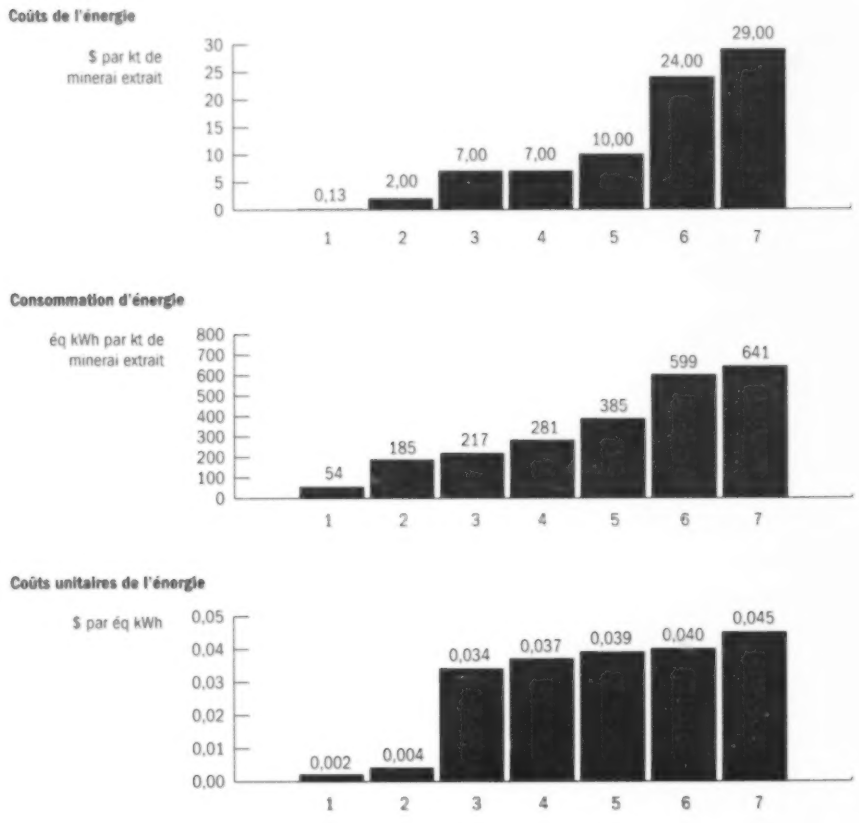
3.3.3 Activités d'extraction du minerai – Étapes de production

Forage (minerai)

Les coûts de l'énergie associés au forage varient de 0,13 à 29 $ par kt de minerai extrait pour les sept activités de forage. La fourchette des coûts et des rendements est la suivante :

	Fourchette Élevé : Faible	Élevé : Faible Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/kt de minerai extrait)	29 : 0,13	21 969
Consommation d'énergie (éq kWh/kt de minerai extrait)	641 : 54	1 191
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,045 : 0,002	1 858

Figure 3.12 – Coûts de l'énergie liés au forage (minerai)

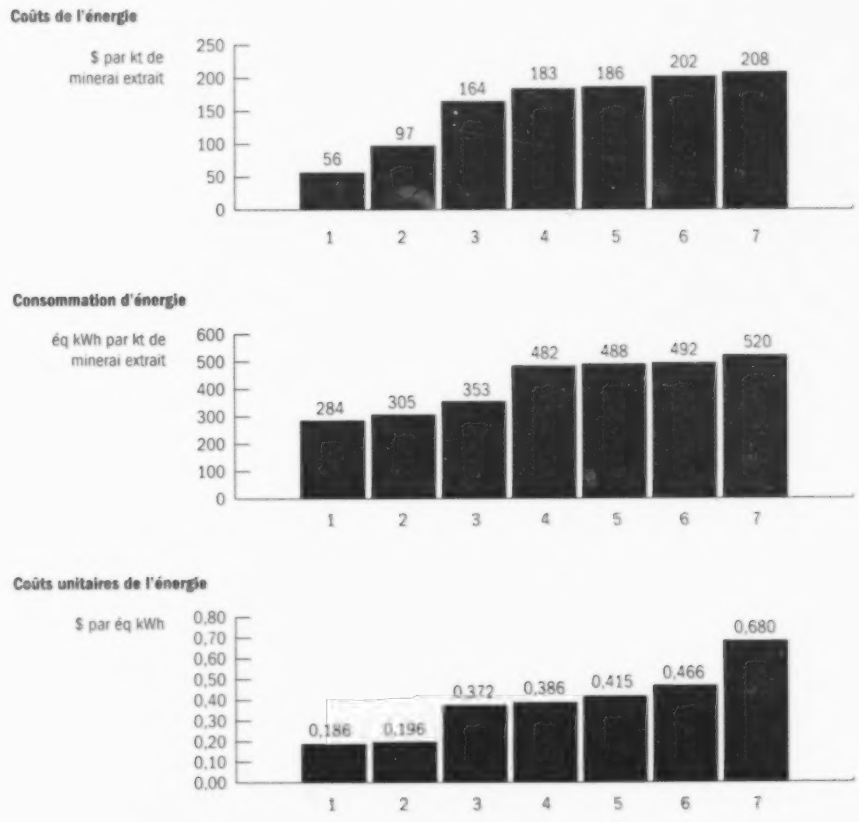


Sautage (minerai)

Les coûts de l'énergie associés au sautage du minerai varient de 56 à 208 $ par kt de minerai extrait. La fourchette des coûts et des rendements est la suivante :

	Fourchette Élevé : Faible	Élevé : Faible Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/kt de minerai extrait)	208 : 56	374
Consommation d'énergie (éq kWh/kt de minerai extrait)	520 : 284	183
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,680 : 0,186	366

Figure 3.13 - Coûts de l'énergie liés au sautage (minerai)

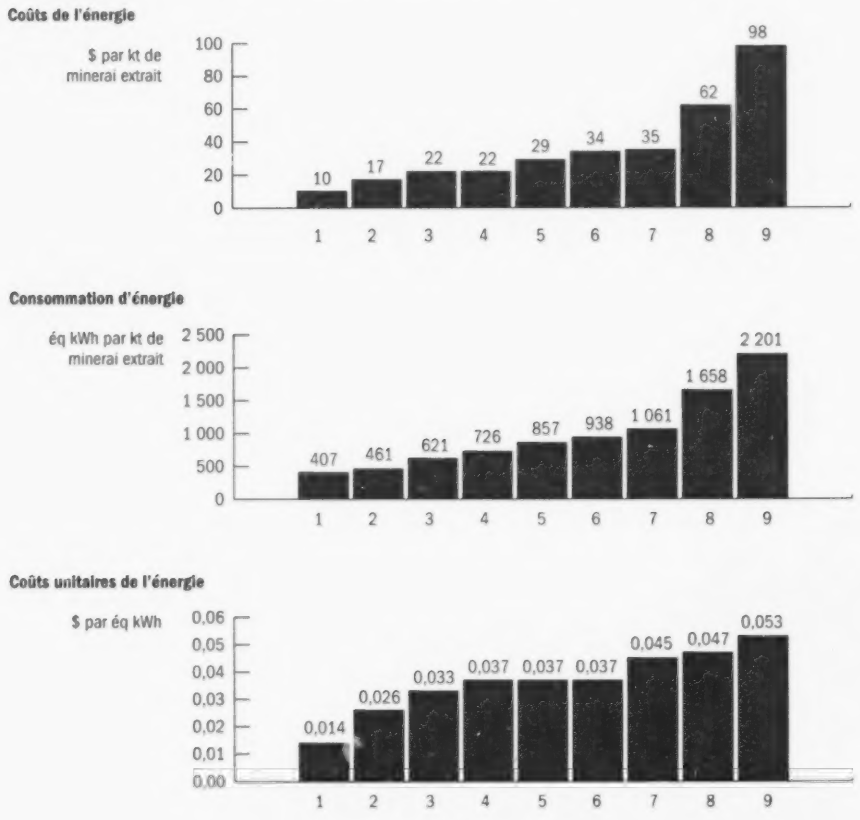


Chargement et excavation du minerai

Les coûts de l'énergie associés au chargement et à l'excavation du minerai varient de 10 à 98 $ par kt de minerai extrait. La fourchette des coûts et des rendements est la suivante :

	Fourchette Élevé : Faible	Élevé : Faible Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/kt de minerai extrait)	98 : 10	954
Consommation d'énergie (éq kWh/kt de minerai extrait)	2 201 : 407	541
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,053 : 0,014	378

Figure 3.14 – Coûts de l'énergie liés à l'excavation (minerai)

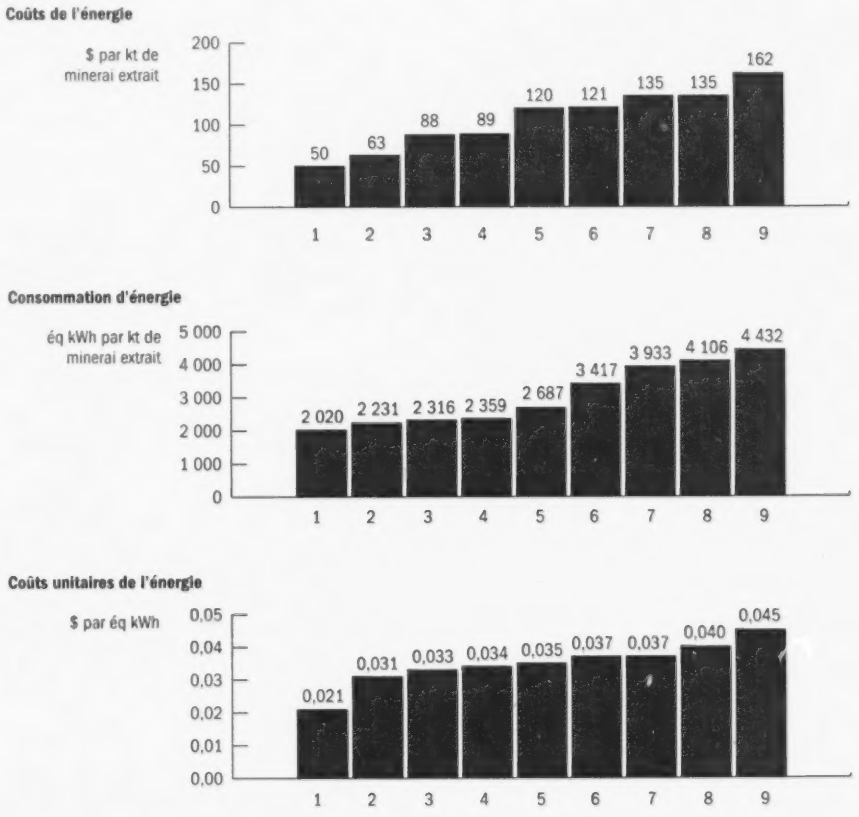


Transport du minerai

Les coûts de l'énergie associés au transport du minerai au concasseur ou aux piles de stockage varient de 50 à 162 $ par kt de minerai extrait. La fourchette des coûts et des rendements est la suivante :

	Fourchette Élevé : Faible	Élevé : Faible Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/kt de minerai extrait)	162 : 50	327
Consommation d'énergie (éq kWh/kt de minerai extrait)	4 432 : 2 020	219
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,045 : 0,021	208

Figure 3.15 – Coûts de l'énergie liés au transport du minerai

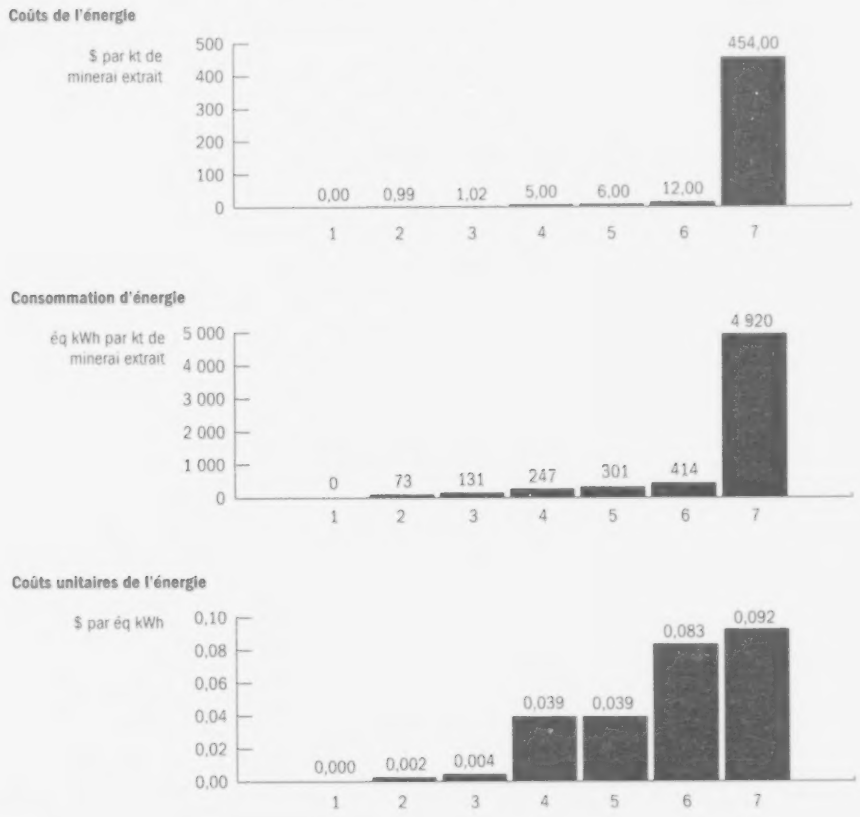


Dénoyage

Les coûts de l'énergie associés au dénoyage varient de 0 à 454 $ par kt de minerai extrait. La fourchette des coûts et des rendements est la suivante :

	Fourchette Élevé : Faible	Élevé : Faible Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/kt de minerai extrait)	454 : 0,00	s.o.
Consommation d'énergie (éq kWh/kt de minerai extrait)	4 920 : 0	s.o.
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,092 : 0,00	s.o.

Figure 3.16 – Coûts de l'énergie liés au dénoyage

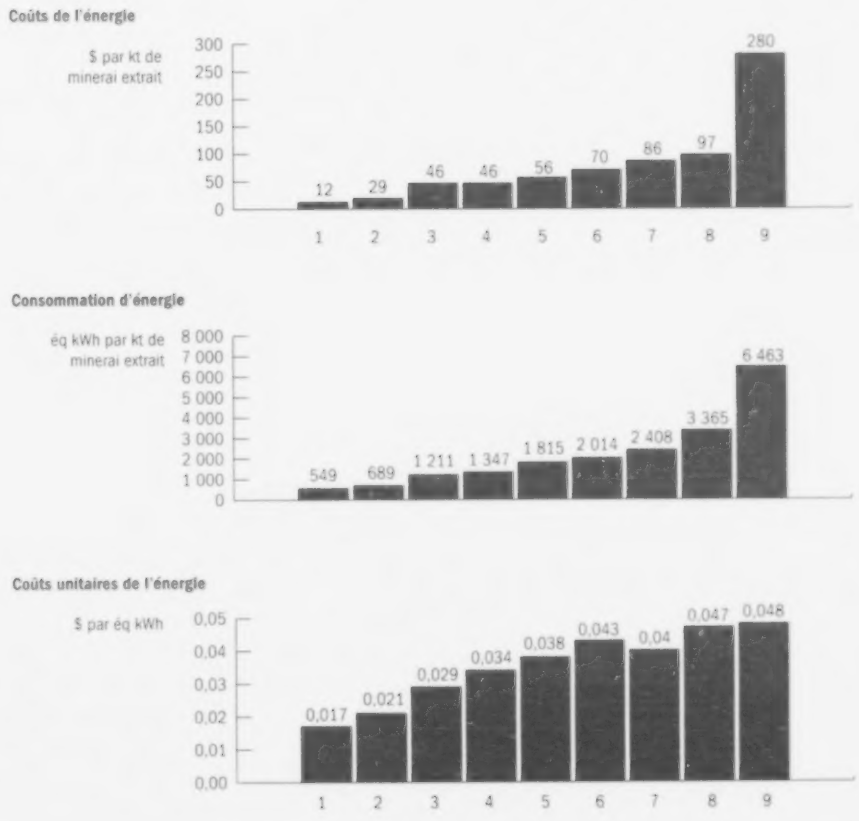


Équipement et services de soutien pour l'exploitation minière

La présente catégorie englobe la consommation d'énergie signalée par les participants pour l'équipement de soutien servant à l'exploitation minière, l'entretien des routes ainsi que l'équipement et les installations de service. Les coûts de l'énergie pour les divers services et l'équipement de soutien servant à l'exploitation minière varient de 12 à 280 $ par kt de minerai extrait. La fourchette des coûts et des rendements est la suivante :

	Fourchette Élevé : Faible	Élevé : Faible Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/kt de minerai extrait)	280 : 12	2 376
Consommation d'énergie (éq kWh/kt de minerai extrait)	6 463 : 549	1 177
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,048 : 0,017	288

Figure 3.17 - Coûts de l'énergie liés aux services et à l'équipement de soutien servant à l'exploitation minière



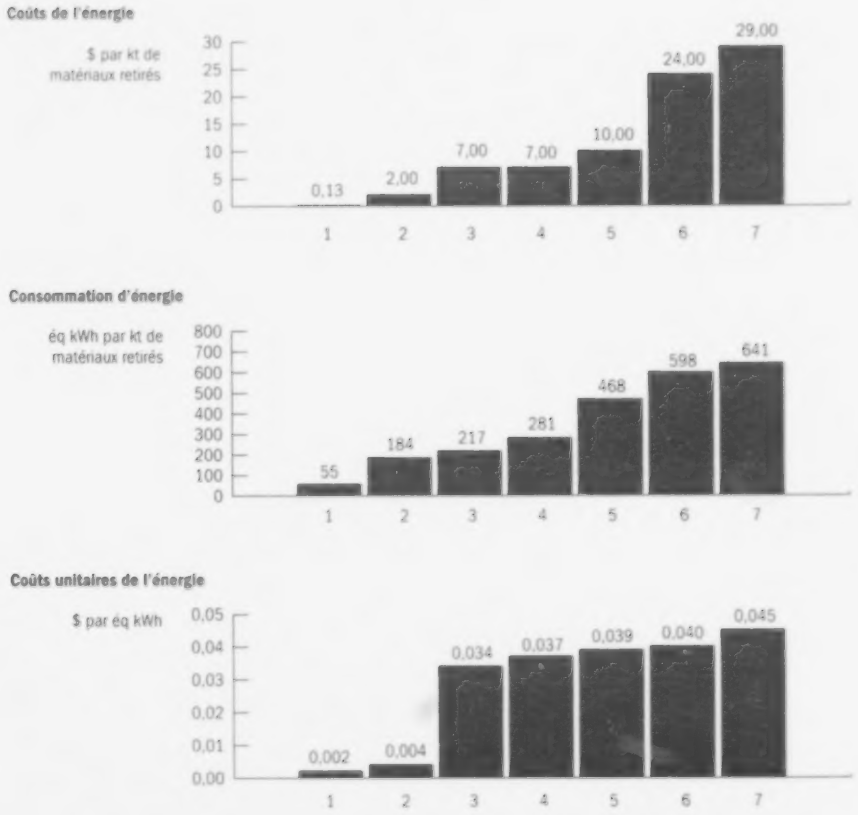
3.3.4 Comparaisons reposant sur la quantité totale de matériaux retirés

Forage

Les coûts de l'énergie associés au forage varient de 0,13 à 29 $ par kt de matériaux retirés (minerai et stériles) pour les sept activités de forage, comme l'illustre le tableau suivant. La fourchette des coûts et des rendements est la suivante :

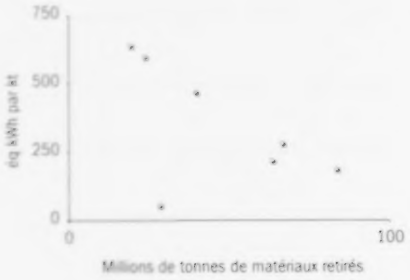
	Fourchette Élevé : Faible	Élevé : Faible Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/kt de matériaux retirés)	29 : 0,13	21 969
Consommation d'énergie (éq kWh/kt de matériaux retirés)	641 : 55	1 173
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,045 : 0,002	1 858

Figure 3.18 – Coûts de l'énergie liés au forage



La figure ci-dessous examine l'incidence de l'envergure des activités d'exploitation minière sur la consommation d'énergie associée au forage. Il semble y avoir un lien très étroit entre la consommation d'énergie liée aux activités de forage par kt de matériaux retirés (c.-à-d., roches abattues) et le volume total de matériaux retirés à la mine. Les plus grands établissements enregistrent une consommation d'énergie atteignant moins de la moitié de la consommation énergétique associée au forage par kt signalée par les plus petits établissements participant à l'étude.

Figure 3.19 – Économies d'échelle : Forage

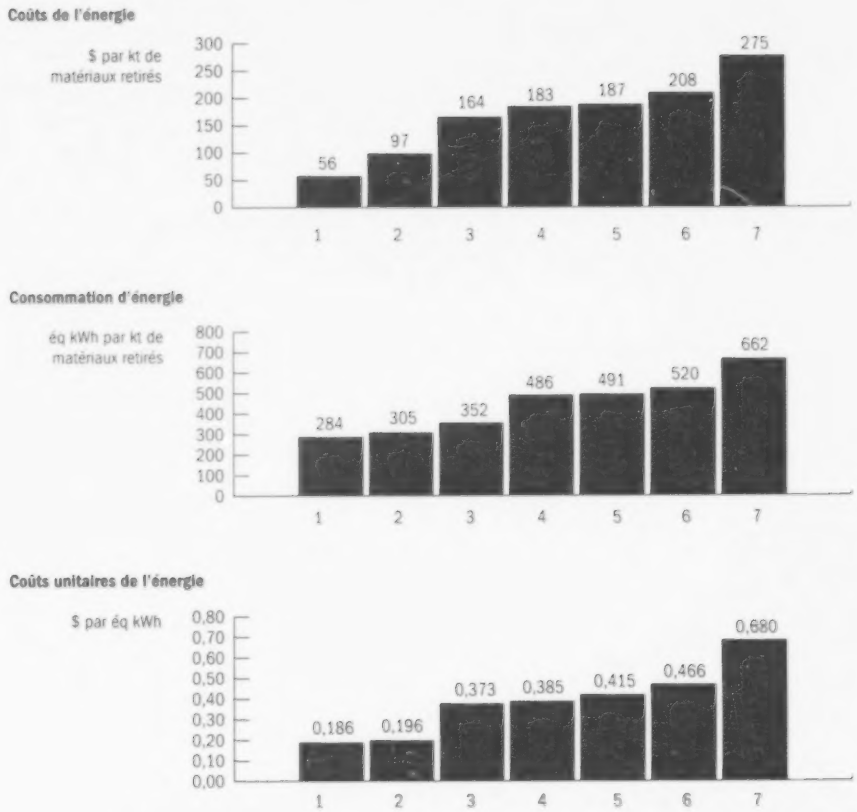


Sautage

Les coûts de l'énergie associés au sautage varient de 56 à 275 $ par kt de matériaux retirés (minerai et stériles). La fourchette des coûts et des rendements est la suivante :

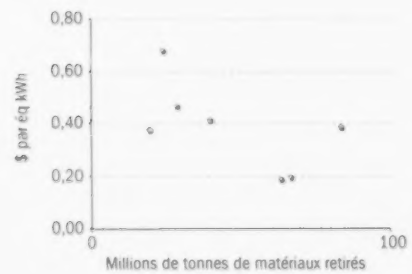
	Fourchette Élevé : Faible	Élevé : Faible Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/kt de matériaux retirés)	275 : 56	494
Consommation d'énergie (éq kWh/kt de matériaux retirés)	662 : 284	233
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,680 : 0,186	366

Figure 3.20 – Coûts de l'énergie liés au sautage



Nous examinons le lien entre l'envergure des activités d'extraction à ciel ouvert et le prix payé pour les combustibles utilisés pour le sautage. Comme l'indique la figure ci-dessous, les plus grands établissements semblent être en mesure de négocier des prix moins élevés auprès des fournisseurs en raison de leurs besoins élevés en combustibles de sautage.

Figure 3.21 – Économies d'échelle : Prix d'achat des combustibles de sautage

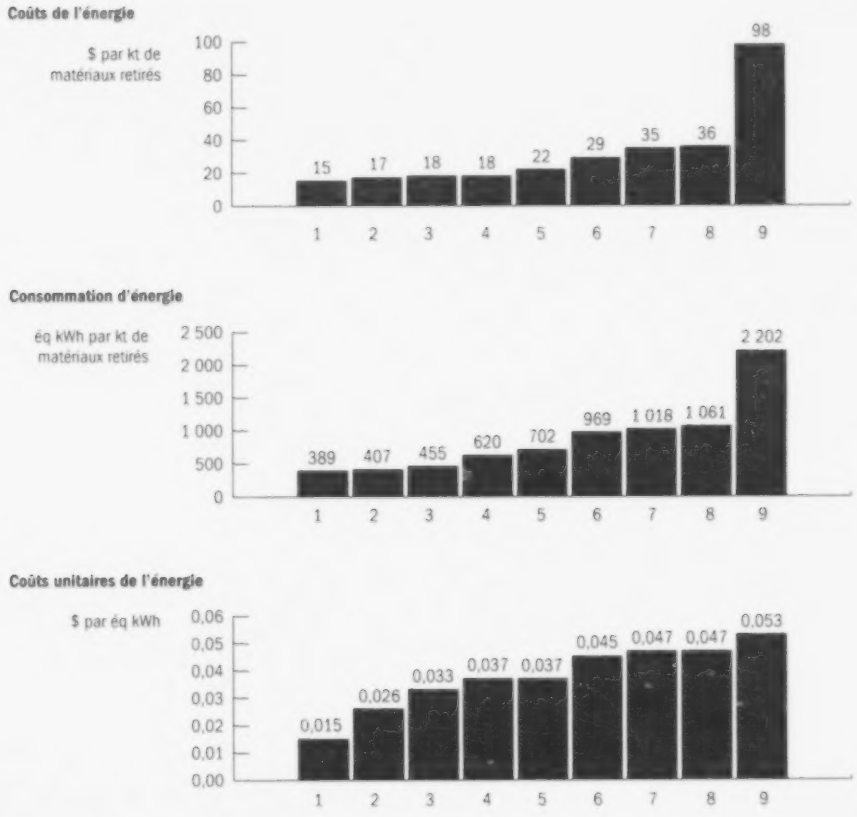


Chargement et excavation des matériaux

Les coûts de l'énergie associés au chargement et à l'excavation du minerai et des stériles varient de 15 à 98 $ par kt de matériaux retirés. La fourchette des coûts et des rendements est la suivante :

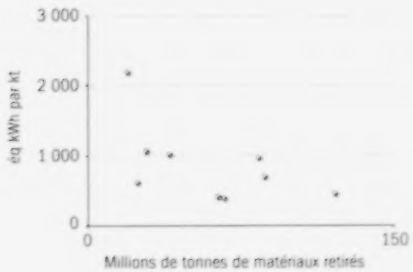
	Fourchette Élevé : Faible	Élevé : Faible Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/kt de matériaux retirés)	98 : 15	657
Consommation d'énergie (éq kWh/kt de matériaux retirés)	2 202 : 389	566
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,053 : 0,015	364

Figure 3.22 – Coûts de l'énergie liés à l'excavation



Les activités d'excavation et de chargement aux sites d'exploitation à ciel ouvert semblent procurer d'importantes économies d'échelle. Les plus grandes entreprises minières peuvent avoir recours à des pelles coûteuses (électriques) et de très grande taille qui ne seraient pas éconergétiques pour les plus petites entreprises minières. La figure ci-dessous examine les économies d'échelle signalées pour les activités de chargement des neuf entreprises participant à l'étude. Il peut paraître étonnant de constater que la consommation d'énergie (éq kWh par kt de matériaux retirés) signalée pour les activités d'excavation n'est pas beaucoup plus élevée chez les petites entreprises minières participant à l'étude.

Figure 3.23 – Économies d'échelle : Excavation

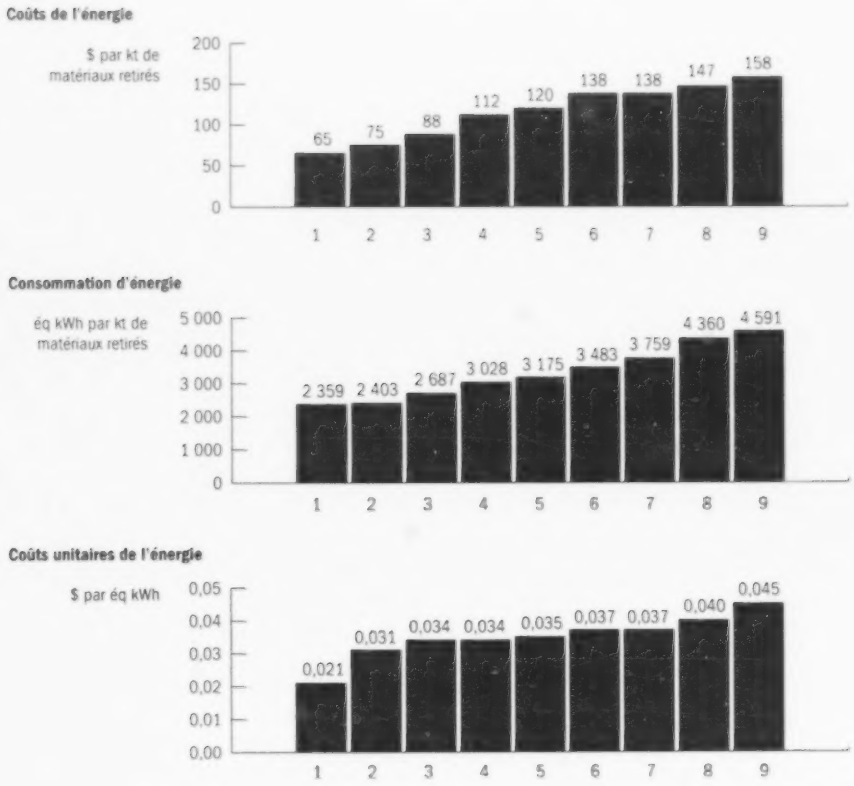


Transport

Les coûts de l'énergie associés au transport des matériaux de la mine jusqu'au concasseur, aux piles de stockage ou au terril varient de 65 à 158 $ par kt de matériaux retirés (minerai et stériles). La fourchette des coûts et des rendements est la suivante :

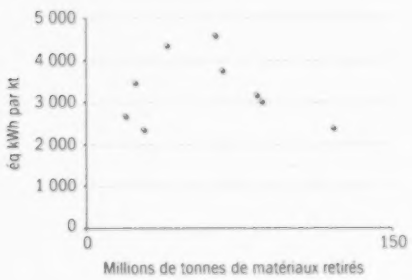
	Fourchette Élevé : Faible	Élevé : Faible Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/kt de matériaux retirés)	158 : 65	243
Consommation d'énergie (éq kWh/kt de matériaux retirés)	4 591 : 2 359	195
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,045 : 0,021	208

Figure 3.24 - Coûts de l'énergie liés au transport et au roulage des matériaux



Le transport est une autre activité d'exploitation minière qui peut procurer des économies d'échelle étant donné que les plus grandes entreprises minières peuvent davantage utiliser de très gros camions (plus de 200 tonnes). Toutefois, selon les données présentées dans la figure ci-dessous, les plus grandes entreprises minières ne semblent pas réaliser d'économies d'énergie par kt de matériaux retirés par rapport aux plus petites entreprises d'exploitation de mines à ciel ouvert ayant participé à l'étude.

Figure 3.25 - Économies d'échelle : Transport

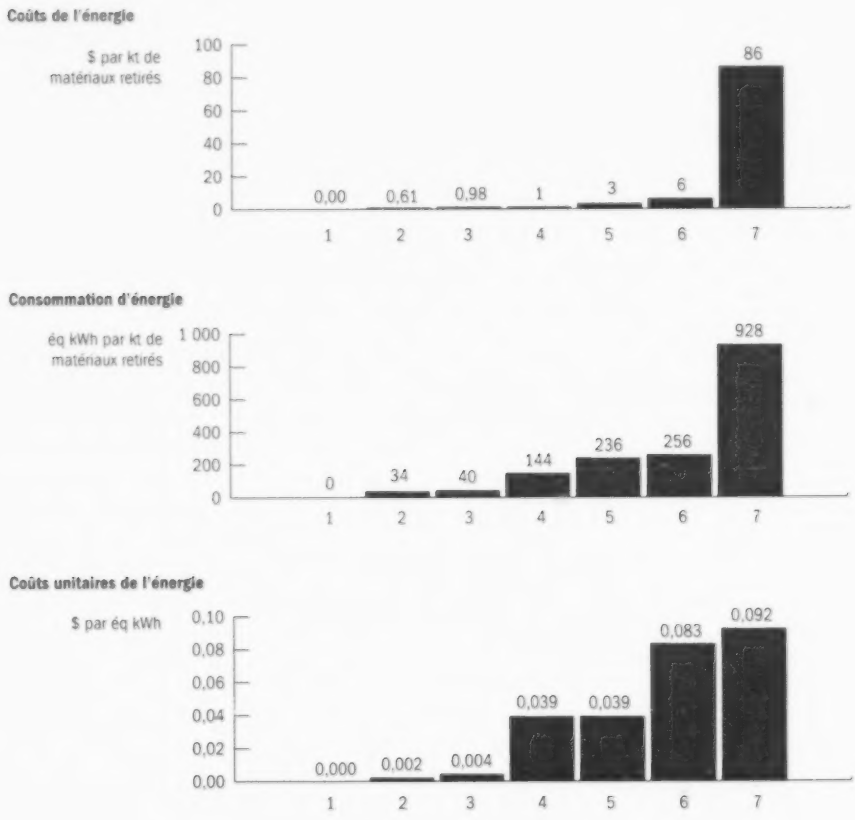


Dénoyage des mines

Les coûts de l'énergie associés au dénoyage des mines varient de 0 à 86 $ par kt de matériaux retirés. La fourchette des coûts et des rendements est la suivante :

	Fourchette Élevé : Faible	Élevé : Faible Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/kt de matériaux retirés)	86 : 0,00	s.o.
Consommation d'énergie (éq kWh/kt de matériaux retirés)	928 : 0	s.o.
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,002 : 0,000	s.o.

Figure 3.26 – Coûts de l'énergie liés au dénoyage des mines

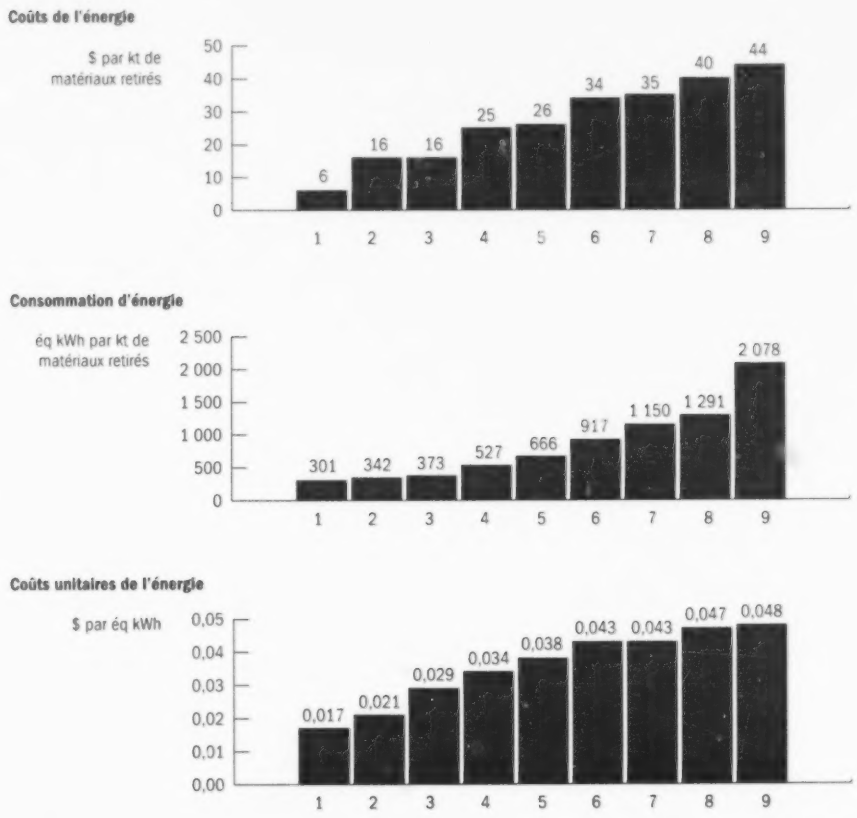


Équipement et services de soutien servant à l'exploitation minière[2]

Les coûts de l'énergie pour les divers services et l'équipement de soutien aux mines varient de 6 à 44 $ par kt de matériaux retirés. La fourchette des coûts et des rendements est la suivante :

	Fourchette Élevé : Faible	Élevé : Faible Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/kt de matériaux retirés)	44 : 6	684
Consommation d'énergie (éq kWh/kt de matériaux retirés)	2 078 : 301	691
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,048 : 0,017	288

Figure 3.27 – Coûts de l'énergie liés à l'équipement et aux services de soutien servant à l'exploitation minière



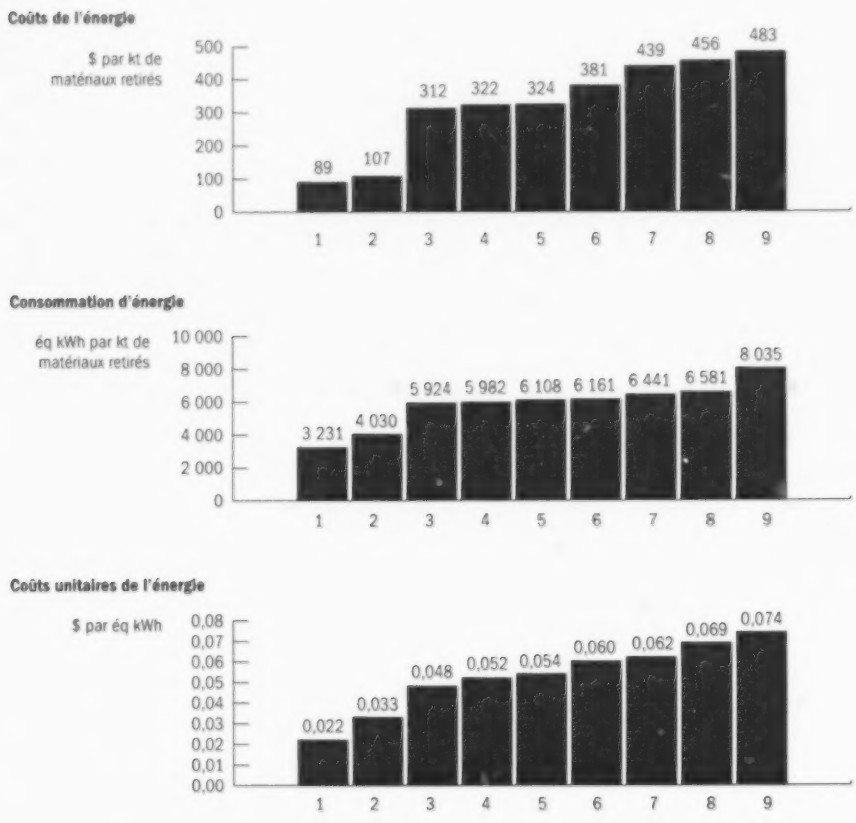
2 Cette catégorie inclut la consommation d'énergie signalée par les participants pour l'équipement de soutien servant à l'exploitation minière, l'entretien des routes ainsi que l'équipement et les installations de service.

Coûts totaux liés à l'exploitation minière par kt de matériaux retirés

Les coûts totaux de l'énergie associés à l'exploitation minière varient de 89 à 483 $ par kt de matériaux retirés. La fourchette des coûts et des rendements est la suivante :

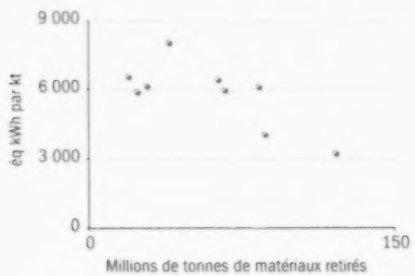
	Fourchette Élevé : Faible	Élevé : Faible Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/kt de matériaux retirés)	483 : 89	510
Consommation d'énergie (éq kWh/kt de matériaux retirés)	8 035 : 3 231	249
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,074 : 0,022	334

Figure 3.28 – Coûts totaux liés à l'exploitation minière



La figure ci-dessous présente l'incidence des économies d'échelle sur la consommation d'énergie pour l'ensemble des activités minières des neuf entreprises participant à l'étude. Les deux plus importantes entreprises, à savoir celles mettant en valeur des sables bitumineux (activité qui ne nécessite pas de forage ni de sautage), ont enregistré la consommation d'énergie la moins élevée par kt de matériaux retirés. Il y a toutefois peu de signes d'économies d'échelle pour la consommation d'énergie des sept entreprises d'exploitation de mines à ciel ouvert de « roches dures » ayant participé à l'étude.

Figure 3.29 – Économies d'échelle : Consommation d'énergie pour l'ensemble des activités d'exploitation minière



3.4 Comparaison des coûts de l'énergie des différentes entreprises minières – Activités de broyage et de concentration

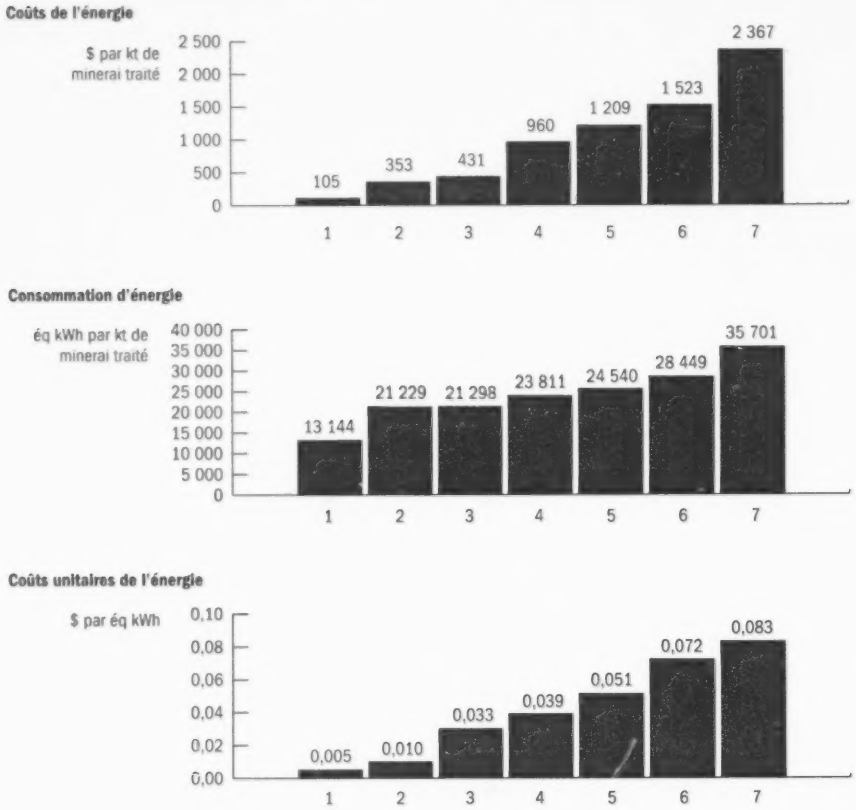
3.4.1 Ensemble des activités de broyage et de concentration

Les coûts totaux de l'énergie associés à l'exploitation des mines à ciel ouvert de sept des entreprises minières participant à l'étude sont indiqués ci-dessous. Comme on peut le constater dans le tableau, les coûts de l'énergie varient de 105 à 2 367 $ par kt de minerai traité. La fourchette des coûts et des rendements est la suivante :

	Fourchette Élevé : Faible	Élevé : Faible Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/kt de minerai traité)	2 367 : 105	2 254
Consommation d'énergie (éq kWh/kt de minerai traité)	35 701 : 13 144	272
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,083 : 0,005	1 681

Les coûts totaux indiqués dans le tableau englobent le concassage, la pulvérisation, toutes les autres activités de concentration, d'extraction et de récupération, le traitement des résidus miniers, l'approvisionnement en eau de procédé, et toute autre consommation d'énergie de l'usine. Tout procédé de concassage effectué à la mine est inclus dans les activités de concassage primaire pratiquées à l'usine de traitement.

Figure 3.30 - Coûts totaux de l'énergie : Activités de broyage et de concentration



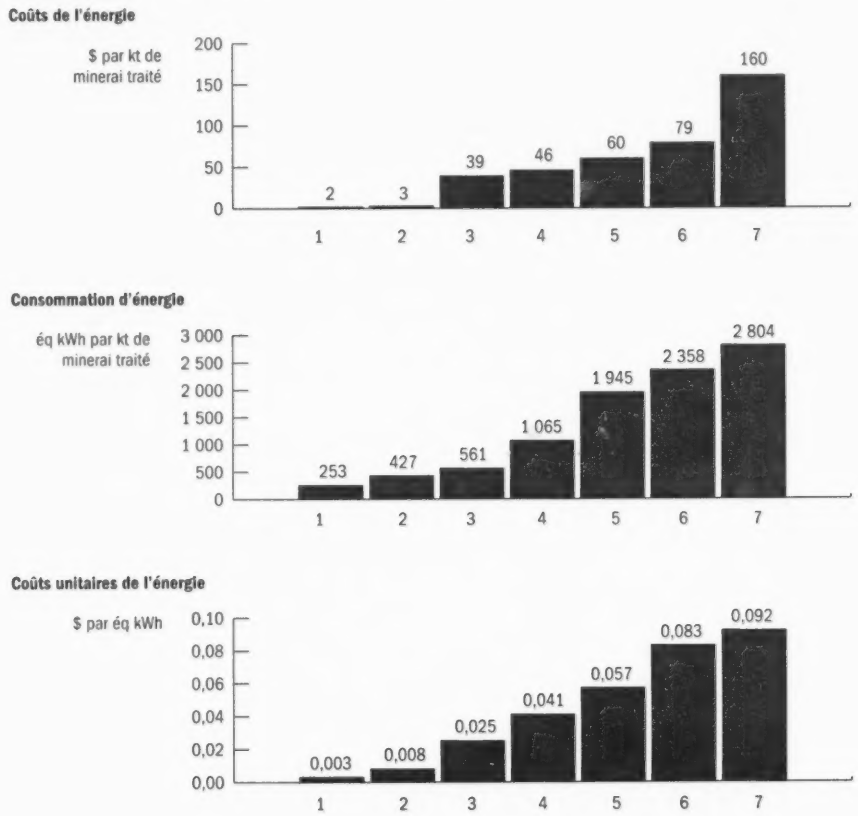
3.4.2 Activités de broyage et de concentration – Étapes de la production

Concassage

Les coûts de l'énergie associés au concassage du minerai varient de 2 à 160 $ par kt de minerai traité pour sept des entreprises minières. La fourchette des coûts et des rendements est la suivante :

	Fourchette Élevé : Faible	Élevé : Faible Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/kt de minerai traité)	160 : 2	8 126
Consommation d'énergie (éq kWh/kt de minerai traité)	2 804 : 253	1 110
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,092 : 0,003	2 957

Figure 3.31 – Coûts de l'énergie liés au concassage

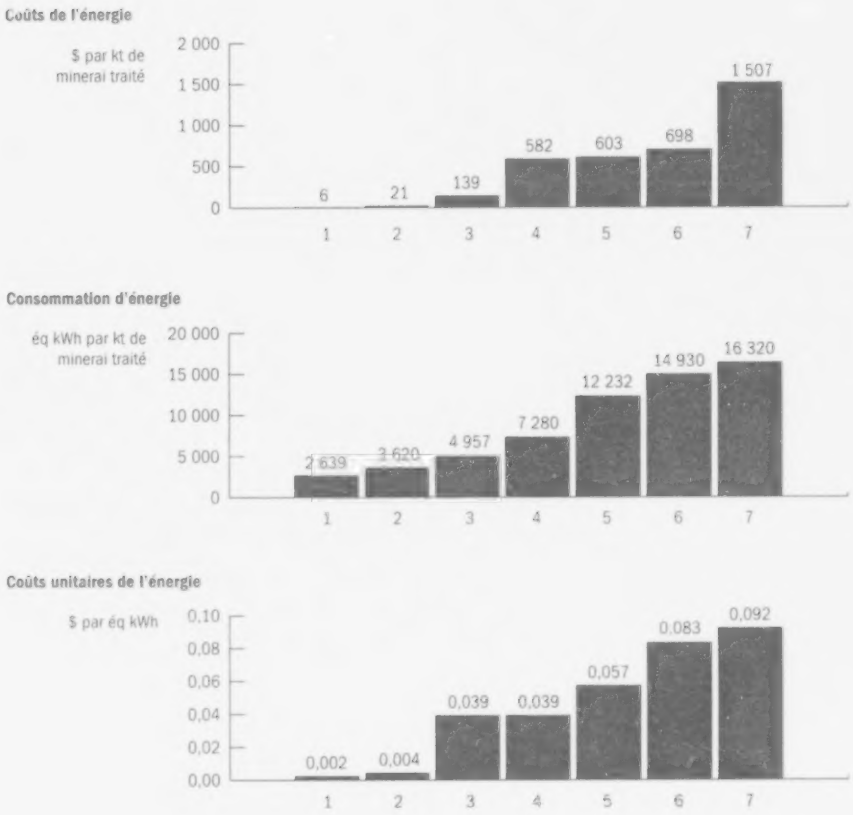


Pulvérisation

Les coûts de l'énergie associés à la pulvérisation du minerai varient de 6 à 1 507 $ par kt de minerai traité. La fourchette des coûts et des rendements est la suivante :

	Fourchette Élevé : Faible	Élevé : Faible Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/kt de minerai traité)	1 507 : 6	23 815
Consommation d'énergie (éq kWh/kt de minerai traité)	16 320 : 2 639	619
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,092 : 0,002	3 849

Figure 3.32 – Coûts de l'énergie liés à la pulvérisation

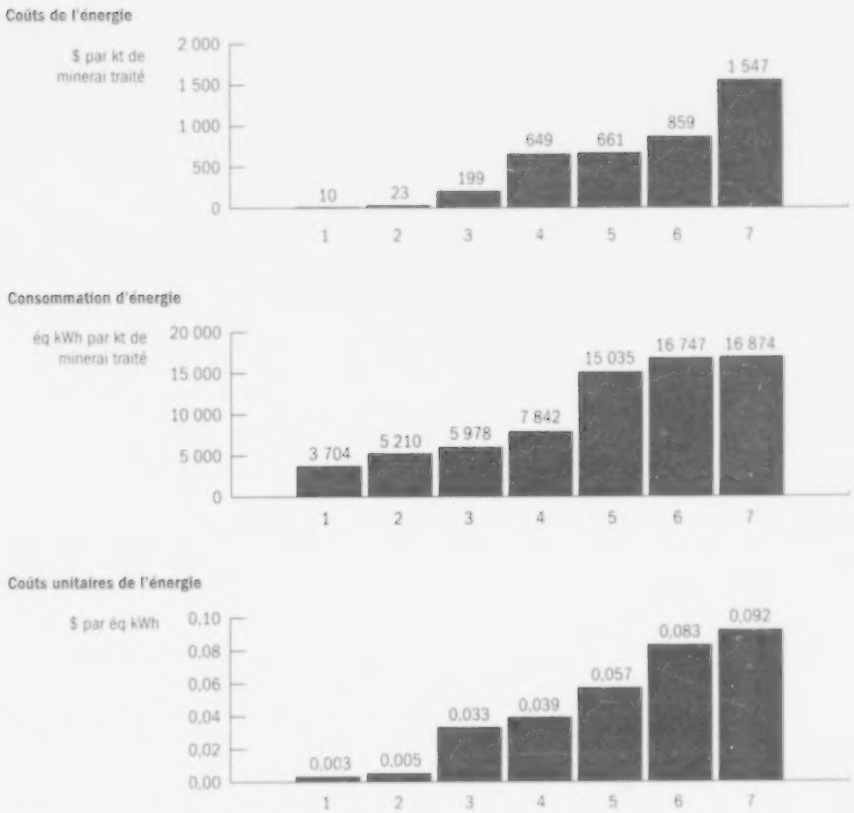


Concassage et pulvérisation combinés

Les coûts de l'énergie associés au concassage et à la pulvérisation combinés varient de 10 à 1 547 $ par kt de minerai traité. La fourchette des coûts et des rendements est la suivante :

	Fourchette Élevé : Faible	Élevé : Faible Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/kt de minerai traité)	1 547 : 10	16 014
Consommation d'énergie (éq kWh/kt de minerai traité)	16 874 : 3 704	456
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,092 : 0,003	3 539

Figure 3.33 – Coûts de l'énergie liés au concassage et à la pulvérisation

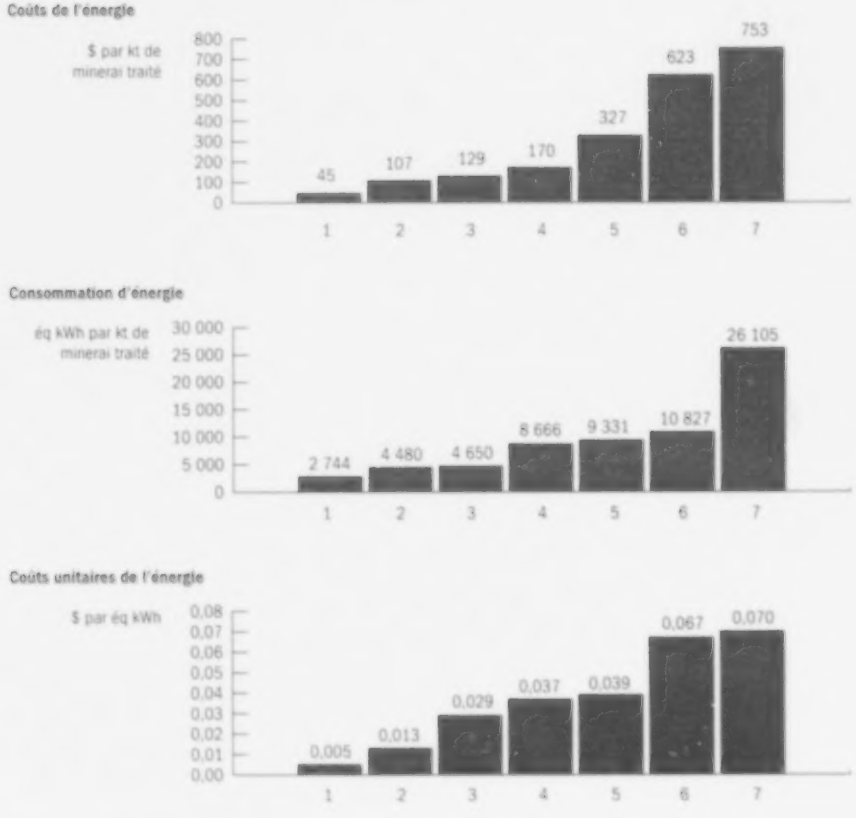


Toutes les autres activités de broyage et de concentration

La présente catégorie qui touche les coûts des activités de broyage et de concentration englobe la consommation d'énergie pour les procédés de séparation, de filtration et de séchage du minerai de fer. Le procédé de séparation inclut les circuits de lixiviation au carbone (CIL) et de carbone en colonne (CIC), la désoxydation, l'extraction électrolytique et le raffinage aux mines d'or. Ces coûts varient de 45 à 753 $ par kt de minerai traité. La fourchette des coûts et des rendements est la suivante :

	Fourchette Élevé : Faible	Élevé : Faible Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/kt de minerai traité)	753 : 45	1 668
Consommation d'énergie (éq kWh/kt de minerai traité)	26 105 : 2 744	951
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,070 : 0,005	1 334

Figure 3.34 – Coûts de l'énergie : Tous les autres traitements

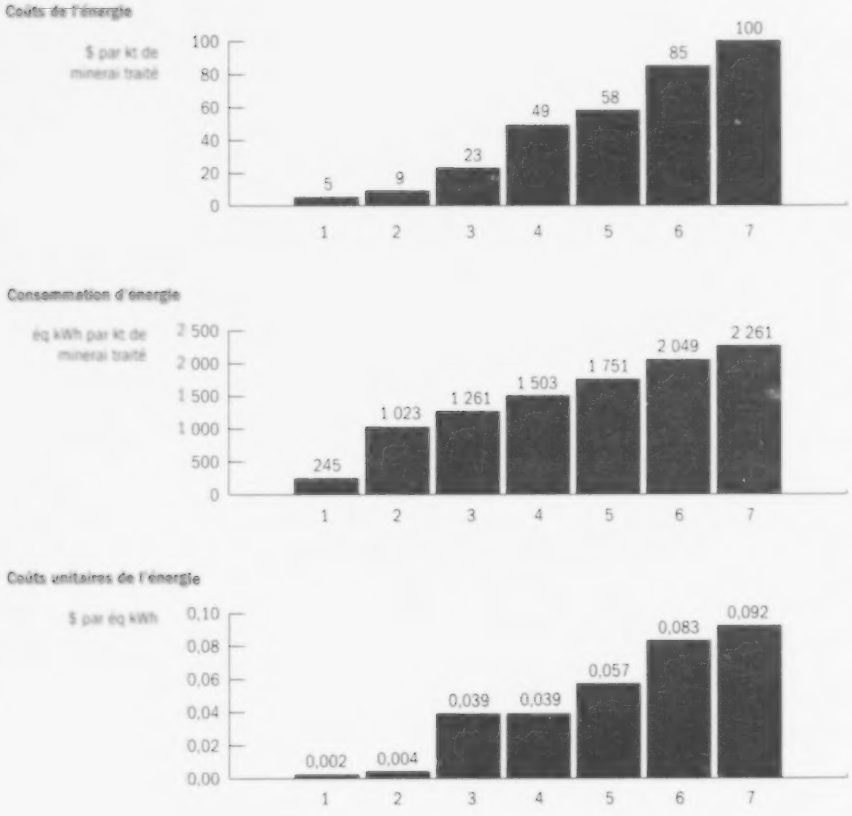


Traitement des résidus miniers

Les coûts de l'énergie associés au traitement des résidus miniers varient de 5 à 100 $ par kt de minerai traité. La fourchette des coûts et des rendements est la suivante :

	Fourchette Élevé : Faible	Élevé : Faible Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/kt de minerai traité)	100 : 5	1 844
Consommation d'énergie (éq kWh/kt de minerai traité)	2 261 : 245	924
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,092 : 0,002	3 849

Figure 3.35 – Coûts de l'énergie : Traitement des résidus miniers

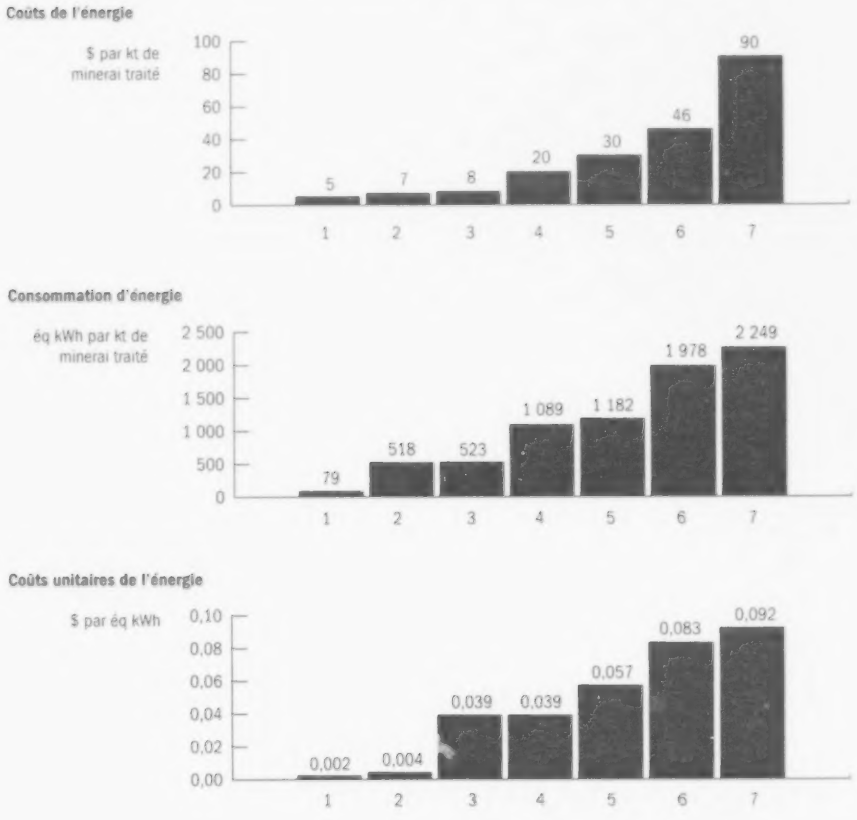


Approvisionnement en eau de procédé

Les coûts de l'énergie associés à l'approvisionnement en eau de procédé varient de 5 à 90 $ par kt de minerai traité. La fourchette des coûts et des rendements est la suivante :

	Fourchette Élevé : Faible	Élevé : Faible Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/kt de minerai traité)	90 : 5	1 671
Consommation d'énergie (éq kWh/kt de minerai traité)	2 249 : 79	2 864
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,092 : 0,002	3 849

Figure 3.36 – Coûts de l'énergie liés à l'approvisionnement en eau de procédé

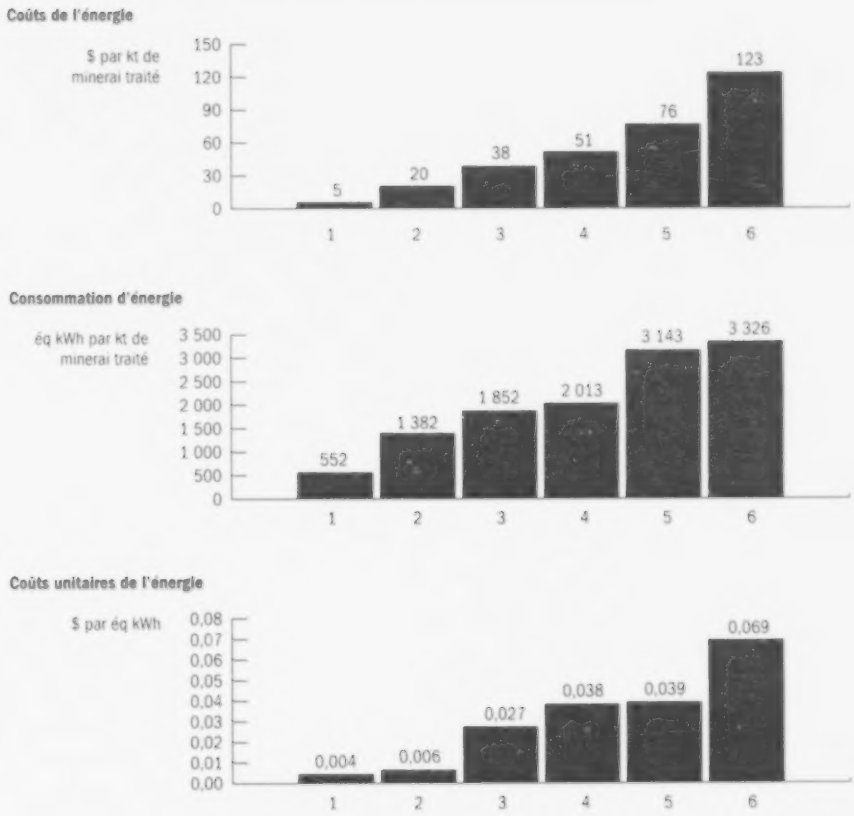


Autre consommation d'énergie dans les usines

Les autres coûts de l'énergie consommée dans les usines varient de 5 à 123 $ par kt de minerai traité. La fourchette des coûts et des rendements est la suivante :

	Fourchette Élevé : Faible	Élevé : Faible Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/kt de minerai traité)	123 : 5	2 254
Consommation d'énergie (éq kWh/kt de minerai traité)	3 326 : 552	603
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,069 : 0,004	1 745

Figure 3.37 – Autres coûts de l'énergie consommée dans les usines



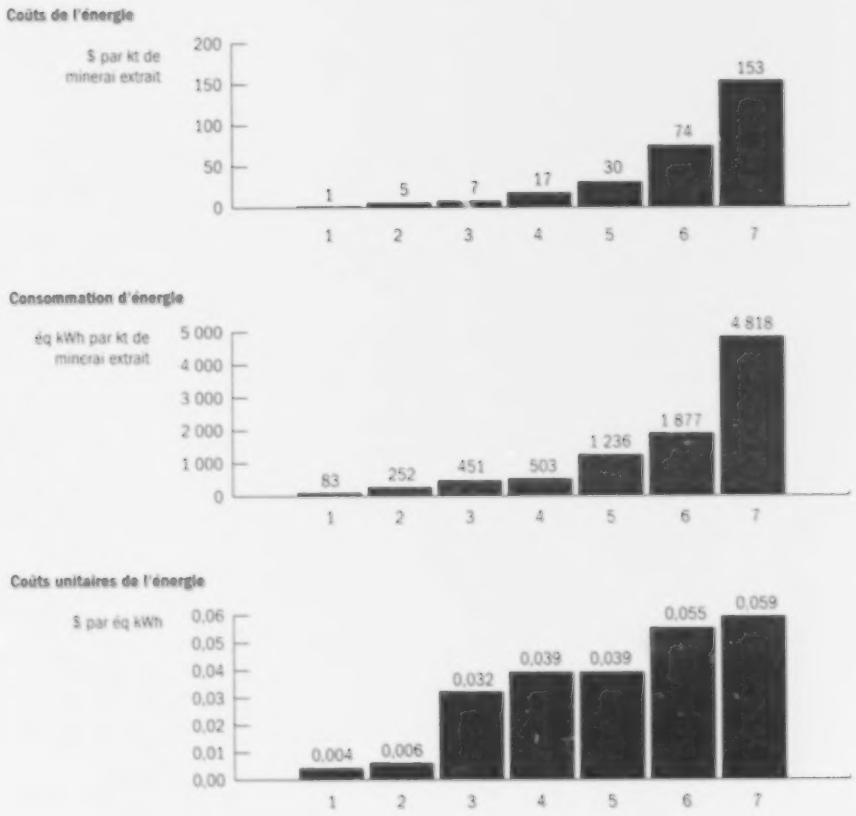
3.5 Activités générales et administratives

Les coûts totaux de l'énergie associés aux activités générales et administratives pour les sept entreprises minières sont présentés ci-dessous. Comme le montre la figure, les coûts de l'énergie signalés varient de 1 à 153 $ par kt de minerai extrait. La fourchette des coûts et des rendements est la suivante :

	Fourchette Élevé : Faible	Élevé : Faible Pourcentage
Coûts de l'énergie ($/kt de minerai extrait)	153 : 1	15 504
Consommation d'énergie (éq kWh/kt de minerai extrait)	4 818 : 83	5 819
Coûts unitaires de l'énergie ($/éq kWh)	0,059 : 0,004	1 503

Les coûts totaux indiqués incluent la consommation d'énergie dans les postes de garde, les parcs de stationnement, les laboratoires d'analyse, les campements, etc.

Figure 3.38 – Coûts de l'énergie liés aux activités générales et administratives



4

POSSIBILITÉS D'ÉCONOMIES : ATTEINTE DU RENDEMENT DE RÉFÉRENCE

4. POSSIBILITÉS D'ÉCONOMIES : ATTEINTE DU RENDEMENT DE RÉFÉRENCE

4.1 Contexte

Dans la présente section, nous fournissons quelques estimations générales des économies d'énergie pouvant être réalisées en atteignant le rendement des activités les plus éconergétiques. Afin de déterminer les économies de coûts potentielles connexes, nous avons utilisé les coûts moyens pondérés de chaque source d'énergie.

Signalons, toutefois, que les économies potentielles relevées peuvent ne pas être réalisées en raison de certains facteurs pratiques. Par exemple, les économies peuvent être liées aux économies d'échelle ou à la nature du corps minéralisé; le client peut également exiger l'utilisation d'une technologie particulière empêchant le recours à des techniques plus éconergétiques.

Par ailleurs, il pourrait y avoir des effets compensatoires concernant l'importance des économies potentielles si l'on tient compte de ce qui suit :

- Des possibilités d'amélioration existent dans les installations les plus éconergétiques et où les coûts sont les moins élevés. Le fait que différentes entreprises se classent au premier rang pour différentes étapes de production appuie encore davantage ces possibilités.
- Des activités ne faisant pas partie de l'échantillon ayant servi à l'étude peuvent être à coûts moins élevés et plus éconergétiques.

À la lumière de ces facteurs, nous présentons ci-dessous une estimation primaire des économies pouvant être réalisées si chacune des entreprises minières participantes venait à atteindre le meilleur niveau de consommation d'énergie à chaque étape de la production. Les prix moyens des sources d'énergie ont servi pour effectuer les calculs.

4.2 Économies d'énergie potentielles – Extraction

Activités d'extraction (matériaux retirés)

	éq kWh moyens pondérés	éq kWh/kt les moins élevés	Économies d'éq kWh/kt	$/éq kWh moyens	kt totaux	Économies totales (M$)
Forage	291	55	236	0,031	326	2,4
Sautage	448	284	104	0,034	326	18,2
Chargement	707	389	318	0,036	533	6,1
Transport	3 258	2 359	899	0,033	533	15,8
Soutien	704	301	403	0,032	533	6,9
Total						**49,4 (36 %)**

En ce qui concerne les activités d'extraction, les économies d'énergie potentielles relevées représentent des économies de coût d'environ 49 millions de dollars, ou approximativement 36 p. 100.

4.3 Économies d'énergie potentielles – Broyage

Concentration du minerai de fer

	éq kWh moyens pondérés	éq kWh/kt les moins élevés	Économies d'éq kWh/kt	$/éq kWh moyens	kt totaux	Économies totales (M$)
Concassage	1 282	253	1 029	0,021	95 018	2,0
Pulvérisation	3 983	2 639	1 344	0,017	95 018	2,2
Autres traitements	10 008	4 480	5 528	0,013	95 018	6,8
Résidus miniers	1 857	1 503	354	0,015	95 018	0,5
Eau de procédé	1 692	1 182	510	0,014	95 018	0,7
Autres	2 730	1 382	1 348	0,006	55 101	0,4
Total						**12,7 (47 %)**

En ce qui concerne les activités de concentration du minerai de fer, les économies d'énergie potentielles relevées s'élèvent à près de 13 millions de dollars.

Broyage de l'or

	éq kWh moyens pondérés	éq kWh/kt les moins élevés	Économies d'éq kWh/kt	$/éq kWh moyens	kt totaux	Économies totales (M$)
Concassage	1 549	427	1 122	0,054	15 783	1,0
Pulvérisation	13 009	7 280	5 729	0,063	15 783	5,7
Autres traitements	6 248	2 744	3 504	0,058	15 783	3,2
Résidus miniers	1 131	245	886	0,057	15 783	0,8
Eau de procédé	538	79	459	0,063	15 783	0,5
Autres	2 029	552	1 477	0,038	15 783	0,9
Total						**11,9 (53 %)**

En ce qui concerne les activités de broyage de l'or, les économies d'énergie potentielles relevées sont de l'ordre de 12 millions de dollars.

En résumé, les économies d'énergie pouvant être réalisées chaque année pour les activités les plus éconergétiques à chaque étape de production – ou activités de référence – sont d'environ 74 millions de dollars (environ le tiers des coûts totaux de l'énergie), pour les neuf entreprises minières participant à l'étude.

Signalons toutefois que ces économies sont hypothétiques et qu'elles sont fonction des caractéristiques propres à chacune des mines, à savoir la nature du corps minéralisé, la technologie employée, les obligations contractuelles à long terme, etc.